VISIT…

LANZAROTE
Caliente.COM

Статическая мощность P_2 на валу центробежных компрессоров изменяется пропорционально третьей степени угловой скорости ω (рис. 17-1, *г*), если отсутствует противодавление. Для этих механизмов характерны простота конструкции, надежность в эксплуатации и высокая производительность. Такие компрессоры при-

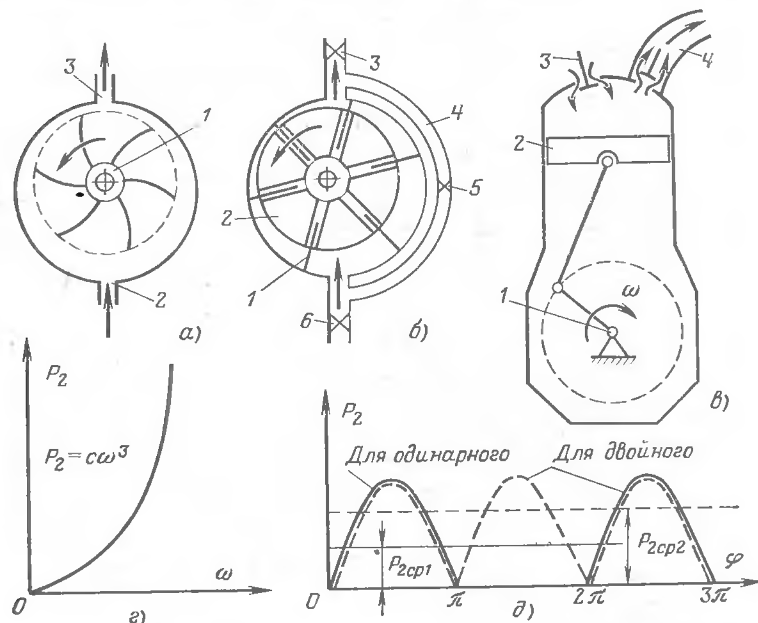


Рис. 17-1. Схемы компрессоров: центробежного (*а*), ротационного (*б*) и поршневого (*в*) типов. Графики зависимости мощности на валу механизмов центробежного типа от скорости (*г*) и поршневого типа от угла поворота кривошипа (*д*).

меняются для получения давлений до $6 \cdot 10^5$ Па (турбинные) и до $15 \cdot 10^5$ Па (ротационные).

В поршневом компрессоре (рис. 17-1, *в*) при вращении кривошипного вала *1* и движении поршня *2* вниз газ засасывается через открытый впускной клапан *3*. При движении поршня вверх клапан *3* закрывается, происходит сжатие воздуха, который через выпускной клапан *4* направляется к потребителям.

Поршневые компрессоры отличаются неравномерностью подачи газа. В компрессоре одинарного действия

подача газа производится только при ходе поршня вверх. В компрессоре двойного действия подача газа осуществляется при ходе поршня в обе стороны. Мгновенная мощность p_2 на валу таких механизмов изменяется по синусоидальному закону в зависимости от угла поворота φ кривошипа (рис. 17-1, *д*). С целью сглаживания графика нагрузки на валу приводного двигателя устанавливают маховик. Для уменьшения колебаний давления у потребителя между ним и компрессором помещают ресивер (промежуточный герметичный резервуар — воздухосборник). Поршневые компрессоры имеют более сложную конструкцию, чем центробежные, и применяются для получения давлений до $1000 \cdot 10^5$ Па при относительно небольшой производительности.

Высокие давления газа могут быть получены только в многоступенчатых компрессорах, в которых газ сжимается последовательно в нескольких цилиндрах или камерах. При сжатии газа в компрессорах выделяется большое количество тепла, которое обычно отводится с помощью проточной воды, проходящей через кожух компрессора. Благодаря охлаждению сохраняется неизменной температура сжимаемого газа и снижается мощность приводного двигателя. Угловая скорость рабочего вала компрессоров составляет у поршневых 30—75 рад/с, у ротационных 300 рад/с, у турбинных до 1200 рад/с.

Вентиляторы предназначены для вентиляции производственных помещений, отсасывания газов, подачи воз-

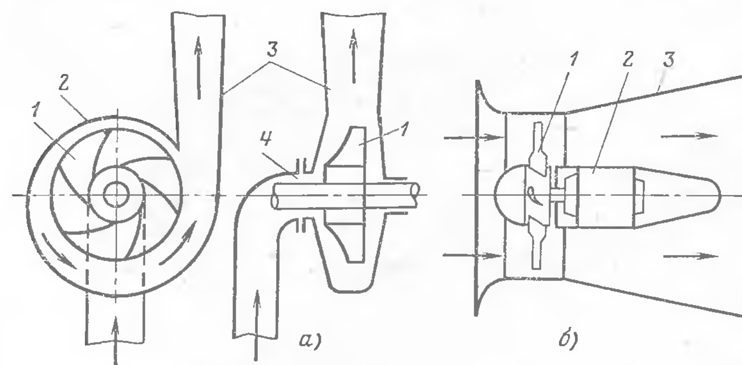


Рис. 17-2. Схемы вентиляторов.

а — центробежного типа; *б* — осевого типа.

духа или газа в камеры электропечей, в котельных и других установках. Вентиляторы создают перепад давления $(0{,}01—0{,}1)\cdot 10^5$ Па.

По конструкции вентиляторы делятся на центробежные и осевые. Они выпускаются в нескольких исполнениях в зависимости от направления выхода воздуха, (вверх, вниз, горизонтально и т. д.) и направления вращения. Рабочее колесо *1 центробежного* вентилятора (рис. 17-2, *а*) вращается в кожухе *2*. Воздух засасывается через боковое отверстие *4* кожуха и выбрасывается через выходной раструб *3*. *Осевой* вентилятор (рис. 17-2, *б*) имеет рабочее колесо с несколькими лопатками *1*, сходными по форме с лопатками воздушного или гребного винта. Колесо вращается электродвигателем *2*, укрепленным внутри корпуса *3*, и создается тяга (поток) воздуха через раструб вентилятора.

Наибольшее распространение на промышленных предприятиях получили центробежные вентиляторы. Они имеют такую же, как и центробежные компрессоры, зависимость статической мощности на валу от скорости ($P_2=c\omega^3$) (рис. 17-1, *г*), называемую вентиляторной характеристикой. Момент на валу вентилятора изменяется пропорционально квадрату скорости, а производительность вентилятора пропорциональна угловой скорости в первой степени.

17-2. ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА И ВЫБОР МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЕЙ КОМПРЕССОРОВ И ВЕНТИЛЯТОРОВ

Для механизмов данной группы типичен продолжительный режим работы, поэтому их электроприводы, как правило, нереверсивные с редкими пусками. В отличие от механизмов непрерывного транспорта компрессоры и вентиляторы имеют небольшие пусковые статические моменты — до 20—25% от номинального. В зависимости от назначения, мощности и характера производства, где установлены механизмы этой группы, они могут требовать или небольшого, но постоянного подрегулирования производительности при отклонении параметров воздуха (газа) от заданных значений, или же регулирования производительности в широких пределах.

Производительность компрессоров, вентиляторов и воздуходувок можно изменять тремя способами: изме-

нением угловой скорости приводного двигателя, изменением сопротивления магистрали (трубопровода) с помощью задвижки, а также конструктивным изменением рабочих органов механизма в процессе регулирования (поворотные лопатки в вентиляторах и т. п.).

Для вентиляционных установок цеховых помещений и большинства поршневых компрессоров не требуется регулирования угловой скорости приводных двигателей. Поэтому здесь применяют асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором и синхронные двигатели. При мощности более 50—100 кВт привод с синхронным двигателем обычно оказывается экономически выгоднее, чем привод с асинхронным двигателем. Хотя синхронные двигатели сложнее по устройству и дороже, чем асинхронные, применение их целесообразно для одновременного улучшения $\cos\varphi$ предприятия.

Поскольку поршневой компрессор при работе создает на валу периодически изменяющийся момент сопротивления, это вызывает колебания ротора синхронного двигателя. Чтобы уменьшить такие колебания и устранить возможность выпадания двигателя из синхронизма, для привода поршневых компрессоров применяют специальные тихоходные синхронные двигатели (ω_0 до 26,2—31,4 рад/с) с большой перегрузочной способностью, повышенным моментом инерции ротора и большими значениями входного (синхронизирующего) момента.

При достаточной мощности питающей сети производится прямой пуск асинхронных и синхронных двигателей. В тех случаях, когда сеть не позволяет осуществить прямой пуск, применяют различные способы ограничения пускового тока, например пуск двигателя через автотрансформатор или реакторы.

Если необходимо регулирование скорости механизмов с вентиляторным характером нагрузки на валу, например вентиляторов и дымососов котельных, то применяют асинхронные двигатели с фазным ротором, а также приводы с асинхронными двигателями с короткозамкнутым ротором и дросселями в цепи статора или с электромагнитной муфтой скольжения, устанавливаемой между двигателем и механизмом.

При выборе мощности двигателя для компрессоров и вентиляторов, как и для всех механизмов с продолжительным режимом работы и постоянной нагрузкой, требуемую мощность двигателя $P_{дв}$ находят по мощности

на валу механизма с учетом потерь в промежуточных механических передачах.

Мощность двигателя поршневого компрессора $P_{дв,к}$, кВт, определяется по приближенной формуле

$$P_{дв.к} = k_з \frac{QA \cdot 10^{-3}}{\eta_к \eta_п}, \qquad (17\text{-}1)$$

где Q — производительность (подача) компрессора, м³/с; $A = (A_и + A_а)/2$ — работа, Дж/м³, изотермического и адиабатического сжатия 1 м³ атмосферного воздуха давлением $p_1 = 1{,}01 \cdot 10^5$ Па до требуемого давления p_2, Па; для давлений до $10 \cdot 10^5$ Па значения A указаны ниже:

p_2, 10^5 Па	3	4	5	6	7	8	9	10
A, 10^3 Дж/м³	132	164	190	213	230	245	260	272

$\eta_к$ — индикаторный КПД компрессора, учитывающий потери мощности при реальном процессе сжатия воздуха и равный 0,6—0,8; $\eta_п$ — КПД механической передачи между компрессором и двигателем, его значения лежат в пределах 0,9—0,95; $k_з$ — коэффициент запаса, равный 1,05—1,15 и учитывающий не поддающиеся расчету факторы.

Мощность двигателя вентилятора $P_{дв,в}$, кВт, можно вычислить по формуле

$$P_{дв.в} = k_з \frac{QH \cdot 10^{-3}}{\eta_в \eta_п}, \qquad (17\text{-}2)$$

где Q — производительность вентилятора, м³/с; H — напор (давление) газа, Па; $\eta_в$ — КПД вентилятора, равный 0,5—0,85 — для осевых, 0,4—0,7 — для центробежных вентиляторов; $\eta_п$ — КПД механической передачи; $k_з$ — коэффициент запаса, равный 1,1—1,2 при мощности больше 5 кВт, 1,5 — при мощности до 2 кВт и 2,0 — при мощности до 1 кВт.

По формуле (17-2) определяется и мощность двигателя центробежного компрессора.

Пример 17-1. Выбрать приводной двигатель для поршневого компрессора. Производительность компрессора $Q = 20$ м³/мин; начальное давление воздуха $p_1 = 1{,}1 \cdot 10^5$ Па, конечное давление на выходе $p_2 = 10 \cdot 10^5$ Па; индикаторный КПД компрессора $\eta_к = 0{,}78$; требуемая угловая скорость двигателя $\omega \approx 103$ рад/с.

По данным, приведенным на стр. 454, для $p_2 = 10 \cdot 10^5$ Па находим $A = 272 \cdot 10^3$ Дж/м³ и затем определяем мощность двигателя компрессора, приняв $k_з = 1{,}05$ и $\eta_п = 0{,}95$.

Требуемая мощность двигателя

$$P_{дв,к} = k_з \frac{QA \cdot 10^{-3}}{\eta_к \eta_п} = 1{,}05 \frac{20 \cdot 272 \cdot 10^3 \cdot 10^{-3}}{60 \cdot 0{,}78 \cdot 0{,}95} = 128{,}5 \text{ кВт}.$$

В качестве приводного двигателя может быть использован рекомендуемый для поршневых компрессоров асинхронный двигатель с к. з. ротором типа АТМ-6-125: $P_{ном} = 130$ кВт, $U_{ном} = 380$ В, $\omega_{ном} = 102{,}6$ рад/с.

Пример 17-2. Выбрать асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором для вентилятора, обеспечивающего при угловой скорости двигателя $\omega_{ном} \approx 100$ рад/с производительность $Q_{ном} = 3$ м³/с и напор $H_{ном} = 570$ Па, а также найти значения угловой скорости двигателя, необходимые для регулирования производительности в пределах 2,6—2,8 м³/с. Значение КПД вентилятора можно принять неизменным и равным $\eta_в = 0{,}64$. Вентилятор непосредственно соединен с двигателем.

Требуемая мощность двигателя при $Q_{ном} = 3$ м³/с и $\eta_п = 1$ с учетом коэффициента запаса $k_з = 1{,}1$ будет равна:

$$P_{дв,в} = k_з \frac{Q_{ном} H_{ном} \cdot 10^{-3}}{\eta_в \eta_п} = 1{,}1 \frac{3 \cdot 570 \cdot 10^{-3}}{0{,}64 \cdot 1} = 2{,}94 \text{ кВт}.$$

Выбираем двигатель типа 4А112МА-6: $P_{ном} = 3$ кВт, $U_{ном} = 380$ В, $\omega_{ном} = 100$ рад/с.

Номинальный момент двигателя

$$M_{ном} = P_{ном} \cdot 10^3 / \omega_{ном} = 3 \cdot 10^3 / 100 = 30 \text{ Н·м}.$$

Скорости двигателя при $Q_1 = 2{,}8$ м³/с и $Q_2 = 2{,}6$ м³/с с учетом того, что $Q_{ном} = c\omega_{ном}$, $Q_1 = c\omega_1$, $Q_2 = c\omega_2$, где c — постоянный коэффициент, будут равны:

$$\omega_1 = \omega_{ном} Q_1 / Q_{ном} = 100 \cdot 2{,}8/3 = 93{,}3 \text{ рад/с};$$

$$\omega_2 = \omega_{ном} Q_2 / Q_{ном} = 100 \cdot 2{,}6/3 = 86{,}7 \text{ рад/с}.$$

Моменты двигателя при этих скоростях

$$M_1 = M_{ном} (\omega_1/\omega_{ном})^2 = 30 (93{,}3/100)^2 = 26{,}1 \text{ Н·м};$$

$$M_2 = M_{ном} (\omega_2/\omega_{ном})^2 = 30 (86{,}7/100)^2 = 22{,}6 \text{ Н·м}.$$

Указанные скорости можно получить изменением напряжения на статоре двигателя [см. характеристики $\omega = f(M)$ на рис. 17-3, *в*].

17-3. АВТОМАТИЗАЦИЯ РАБОТЫ ВЕНТИЛЯТОРНЫХ И КОМПРЕССОРНЫХ УСТАНОВОК

Вентиляторные и компрессорные установки промышленных предприятий в основном предназначаются для обслуживания определенных технологических процессов, поэтому их производительность зависит от потребления воздуха (газа) в ходе работы производственного участка и изменений внешних условий, например температуры, влажности воздуха, запыленности.

Эти установки достаточно просто поддаются автоматизации путем применения специальной аппаратуры, которая дает сигнал об изменении режима работы и производит соответствующие переключения в схеме управления без участия обслуживающего персонала; задача последнего сводится лишь к периодическому контролю действия аппаратов и профилактике.

Рассмотрим некоторые примеры построения схем управления электроприводами, которые позволяют обеспечить автоматизацию вентиляторных и компрессорных установок.

Автоматизация работы вентиляторных установок. Для привода вентиляторов низкого и среднего давления и малой производительности обычно применяют асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором. Для вентиляторов большой производительности и высокого давления устанавливают асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором высокого напряжения и синхронные двигатели.

На рис. 17-3 приведена схема управления вентиляционной установки, состоящей из вентиляторов *В1—В4* с приводными асинхронными двигателями с короткозамкнутым ротором *Д1—Д4*, предназначенной для проветривания помещений и поддержания при этом заданной температуры. Эти требования осуществляются ступенчатым регулированием угловой скорости двигателей путем изменения напряжения статора с помощью автотрансформатора *АТ* (рис. 17-3, *а*), а также выбором количества находящихся в работе вентиляторов. Схема обеспечивает ручное и автоматическое управление вентиляторами; выбор режима работы осуществляется переключателем *УП* (рис. 17-3, *б*).

Ручное управление имеет место при переводе рукоятки *УП* в положение +45°, при этом подготавливаются к включению цепи катушек контакторов *КЛ*, *К1—К4*. Двигатели вентиляторов по питанию разделены на две группы: первая группа (*Д1* и *Д2*) подключена к шинам на вторичной стороне *АТ* постоянно; вторая группа *Д3* и *Д4* присоединяется к шинам *АТ* и включается в работу (при ручном управлении) переводом рукоятки переключателя *ПК2* в положение *2*, при котором срабатывает контактор *К4*.

Управление угловой скоростью двигателей вентиляторов осуществляется переключателем *ПК1*, имеющим че-

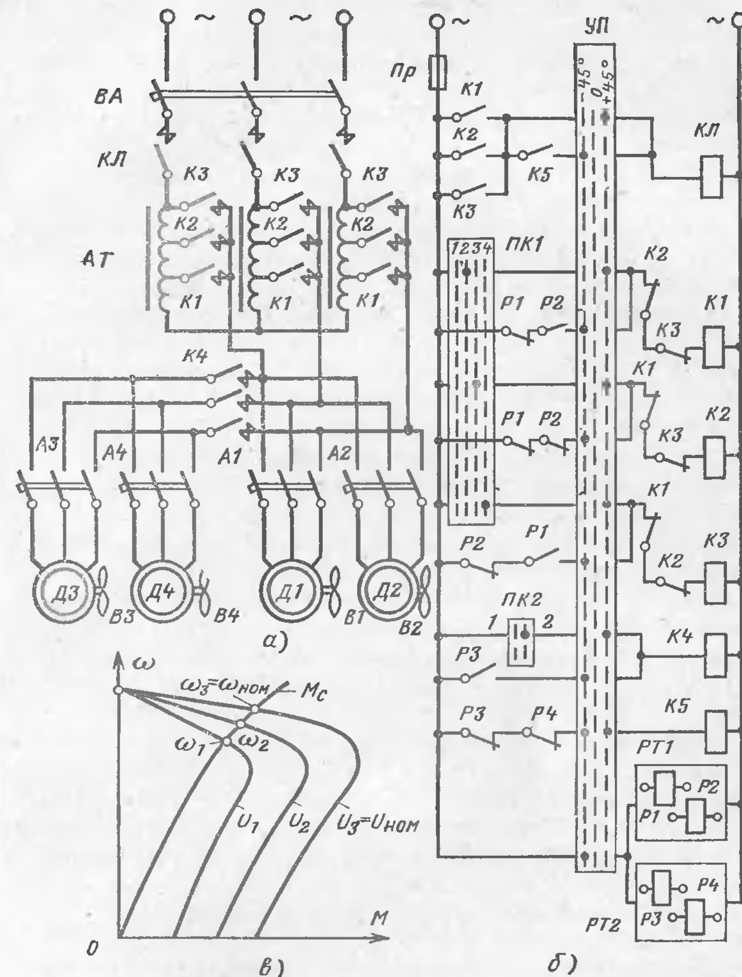


Рис. 17-3. Электропривод вентиляционной установки.

а — схема силовых цепей; *б* — схема цепей управления; *в* — механические характеристики двигателей при переключении выводов автотрансформатора *АТ*.

тыре положения. В положении *1* все двигатели отключены. При установке рукоятки *ПК1* в положение *2* включаются контакторы *К1* и *КЛ*, последний своими замыкающими контактами подключает к сети *АТ*, с нижних отпаек которого через контакты *К1* к статорам двигате-

лей подводится пониженное напряжение ($U_1 < U_{ном}$), при этом вентиляторы работают на минимальной скорости ω_1 (рис. 17-3, *в*). При повороте рукоятки *ПК1* в положение *3* отключается контактор *К1* и включается контактор *К2*, статоры двигателей присоединяются на средние отпайки *АТ*, вентиляторы будут работать на средней скорости ω_2 и их производительность увеличится. Поворотом рукоятки *ПК1* в положение *4* включается контактор *К3*, двигатели переключаются на полное напряжение сети $U_3 = U_{ном}$, скорость их ω_3 будет номинальной, а производительность вентиляторов — максимальной. Последовательно с катушками каждого из контакторов *К1—К3* включены два размыкающих вспомогательных контакта других контакторов, что предотвращает к. з. частей обмоток автотрансформатора *АТ* при переключении контакторов.

Автоматический режим работы осуществляется при установке рукоятки переключателя *УП* в положение —45°. Цепи катушек контакторов *К1—К5* подключаются к источнику питания через контакты реле *Р1—Р4*, которые являются выходными устройствами регуляторов температуры *РТ1* и *РТ2*. Если температура воздуха в помещении соответствует заданной, то включается контактор *К1*, а размыкающие контакты *Р1* и *Р2* замкнуты; включен контактор *К2* и вентиляторы работают на средней скорости.

При повышении температуры переключаются контакты реле *Р1*, контактор *К2* отключается, а *К3* — включается, и вентиляторы будут работать с номинальной скоростью, что обеспечивает более интенсивное проветривание помещения. Если температура воздуха станет ниже заданной, то переключаются контакты реле *Р2*, включается контактор *К1*, и интенсивность проветривания снижается.

При дальнейшем понижении температуры воздуха вступает в действие регулятор *РТ2*. Вначале размыкается контакт его реле *Р3*, отключаются контактор *К4* и вторая группа двигателей *Д3*, *Д4*. Если температура в помещении продолжает понижаться, то при определенном ее значении откроется размыкающий контакт реле *Р4* и отключится контактор *К5*, который своим контактом отключает контактор *КЛ*, вследствие чего все вентиляторы останавливаются, и проветривание помещения прекращается.

Автоматизация работы компрессорных установок. График потребления сжатого воздуха на промышленных предприятиях, как правило, имеет переменный характер в течение суток. Для обеспечения нормальной работы потребителей необходимо, чтобы давление воздуха поддерживалось постоянным; это является одним из основных требований, предъявляемых при автоматизации

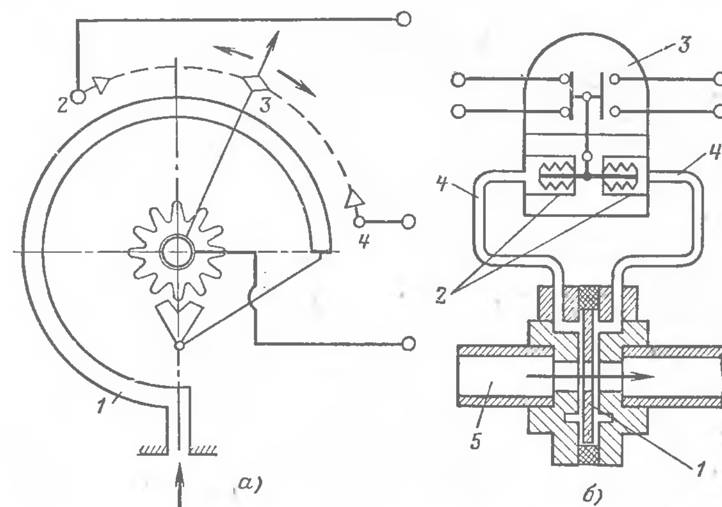


Рис. 17-4. Специальная аппаратура управления компрессорами.
а — электроконтактный манометр; *б* — струйное реле.

компрессорных установок. Давление в воздуховодной сети зависит от потребления воздуха и производительности компрессора. Когда расход воздуха равен производительности компрессора, давление в сети будет номинальным. Если потребление воздуха становится больше производительности, то давление падает, и наоборот.

Наибольшее применение для приводов компрессоров получили асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором и синхронные двигатели. Регулирование производительности компрессоров в этих случаях осуществляется путем автоматического открывания всасывающих клапанов с помощью регулятора давления. Регулирование производительности может осуществляться также периодическим включением компрессорных агрегатов с

учетом графика нагрузки и давления в воздухопроводах, которое контролируется специальным манометром; контакты манометра вводятся в схему управления двигателем.

На рис. 17-4, *а* показано устройство электроконтактного манометра. Как и в обычных манометрах, в нем применяется трубчатая одновитковая пружина *1*, закрытая с одного (подвижного) конца, а другим (неподвижным) концом сообщающаяся со средой — газом, давление которого необходимо контролировать.

Действие манометра основано на линейной зависимости между упругой деформацией трубчатой пружины и давлением, действующим внутри нее. Изменение давления вызывает перемещение закрытого конца трубчатой пружины, который через передаточный механизм приводит в действие подвижный контакт *3*, укрепленный на стрелке. При повышении давления пружина *1* стремится разогнуться, при уменьшении давления — согнуться. Если давление превысит значение $p_{уст}$, на которое настроен манометр, то подвижный контакт *3* замыкается с неподвижным контактом *4*; при уменьшении давления ниже установленного контакт *3* замыкается с неподвижным контактом *2*.

Контактная система допускает включение на напряжение 380 В переменного и 220 В постоянного тока; мощность контактов 10 В·А. Примеры типов электроконтактных манометров: МГ-278 — показывающие, МГ-618 — самопишущие. Кроме контактных манометров применяются поршневые, сильфонные реле давления и другие приборы.

Для поддержания температуры сжимаемого воздуха в компрессорах (особенно на большие давления) в допустимых пределах применяется принудительное охлаждение установок водой, которая пропускается через охлаждающие рубашки цилиндров и промежуточные холодильники, где нагретый при сжатии воздух омывает трубки с циркулирующей холодной водой. Так как кратковременная остановка системы охлаждения компрессора недопустима, за ее работой устанавливается контроль с помощью специальных приборов, отключающих компрессор при недопустимом повышении температуры воздуха или прекращении подачи воды.

Так, на трубопроводах, подводящих охлаждающую воду, устанавливаются струйные реле различных конст-

рукций. На рис. 17-4, *б* показано устройство струйного реле типа МС-51. Реле имеет две цилиндрические мембраны сильфона *2*, соединенные трубками *4* с дроссельным устройством диафрагмы *1*, устанавливаемой внутри трубопровода *5*. При уменьшении количества протекающей воды изменяется перепад давления на диафрагме, происходит переключение контактов *3* реле, что обе-

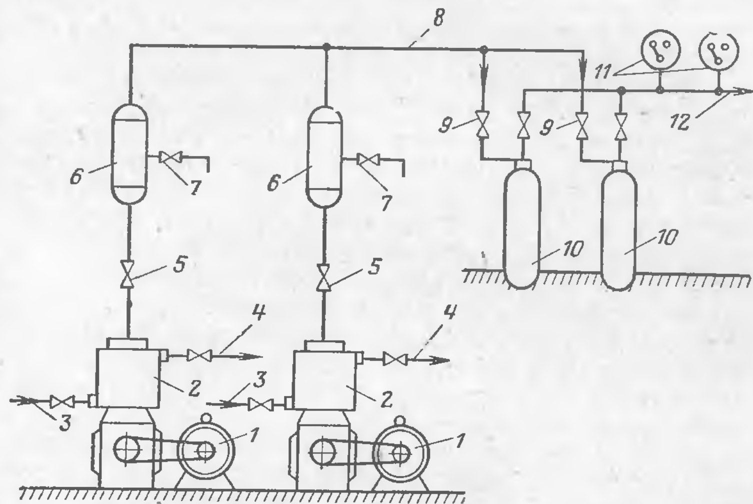


Рис. 17-5. Технологическая схема компрессорной установки.

спечивает подачу в схему управления сигнала на отключение двигателя компрессора.

На рис. 17-5 показана технологическая схема компрессорной установки с двумя поршневыми компрессорами *2*, приводимыми в движение асинхронными двигателями *1*. Сжатый воздух после компрессора проходит через воздухоочистительное устройство *6*, в котором очищается от пыли, влаги, масла. По воздухопроводу *8* воздух поступает в ресиверы *10*, откуда по трубопроводу *12* направляется к потребителям. Обратные клапаны *5* предотвращают работу одного компресора на другой при разнице в создаваемом ими давлении. Трубопроводы *3* и *4* предназначены для циркуляции охлаждающей воды.

Датчиками автоматического управления служат два электроконтактных манометра *11*, подвижные контакты

которых устанавливаются на определенные верхние и нижние пределы давлений воздуха в ресиверах. Верхние пределы для обоих манометров могут быть одинаковыми и при достижении их двигатели компрессоров будут отключаться. Нижние пределы давления манометров устанавливаются разными. При падении давления вначале включается только один компрессор, если же давление будет продолжать падать, то включается и второй компрессор.

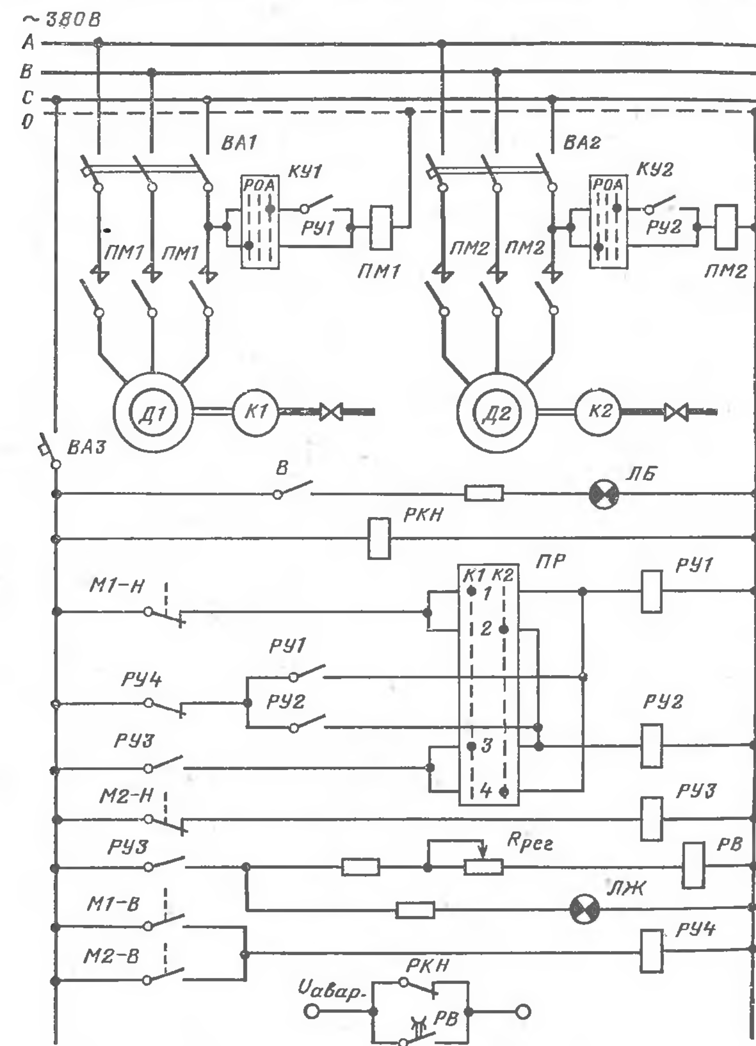


Рис. 17-6. Схема автоматического управления компрессорной установкой.

При пуске компрессора сначала включают охлаждающую воду, затем приводной двигатель. Для уменьшения начального момента сопротивления пуск можно производить при открытом разгрузочном вентиле *7* воздухоочистительного устройства. После пуска двигателя разгрузочный вентиль закрывается. Чтобы давление воздуха в ресиверах не снижалось при остановке компрессоров, в системе имеются обратные клапаны *9*.

Электрическая схема управления компрессорной установкой, состоящей из двух агрегатов *К1* и *К2*, приведена на рис. 17-6. Двигатели компрессоров *Д1* и *Д2* питаются от трехфазной сети ~380 В через автоматические выключатели *ВА1* и *ВА2* с комбинированными расцепителями. Включение и отключение двигателей производится магнитными пускателями *ПМ1* и *ПМ2*. Цепи управления и сигнализации питаются фазным напряжением 220 В через однополюсный автоматический выключатель *ВА3* с максимальным электромагнитным расцепителем.

Управление компрессорами может быть автоматическим или ручным. Выбор способа управления производится с помощью ключей управления *КУ1* и *КУ2*. При *ручном управлении* включение и отключение пускателей *ПМ1* и *ПМ2* осуществляется поворотом рукояток ключей *КУ1* и *КУ2* из положения *О* (*Отключен*) в положение *Р* (*Включен*).

Автоматическое управление компрессорами производится при установке ключей *КУ1* и *КУ2* в положение *А*, а включение и отключение пускателей осуществляется с помощью реле *РУ1* и *РУ2*. Контроль давления воздуха в ресиверах производится двумя электроконтактными манометрами, контакты которых включены в цепи катушек реле *РУ1—РУ4*. Очередность включения компрессоров при падении давления устанавливается с помощью переключателя режимов *ПР*. Если *ПР* установлен в положение *К1*, то первым включается компрессор *К1*.

Предположим, что ресиверы наполнены сжатым воздухом, давление соответствует верхнему пределу (контакты манометров *М1-Н* и *М2-Н* разомкнуты) и компрессоры не работают. Если в результате потребления воздуха давление в ресиверах падает, то при достижении

ими минимального значения, установленного для пуска первого компрессора, замкнется контакт *М1-Н* первого манометра (*Н* — нижний предел), сработает реле *РУ1* и своим контактом включит пускатель *ПМ1* двигателя первого компрессора. В результате работы компрессора *К1* давление в ресиверах будет повышаться и контакт *М1-Н* разомкнется, но это не приведет к отключению компрессора, так как катушка реле *РУ1* продолжает получать питание через свой контакт и замкнутый контакт реле *РУ4*. При повышении давления в ресиверах до максимального предела замкнется контакт манометра *М1-В* (*В* — верхний предел), сработает реле *РУ4* и своим контактом отключит реле *РУ1*, потеряет питание пускатель *ПМ1* и компрессор *К1* остановится.

В случае недостаточной производительности первого компрессора или его неисправности давление в ресиверах будет продолжать падать. Если оно достигнет предела, установленного для замыкания контакта *М2-Н* второго манометра (манометры *М1* и *М2* регулируются так, чтобы контакт *М2-Н* замыкался по сравнению с контактом *М1-Н* при несколько меньшем давлении), то сработают реле *РУ3* и *РУ2*. Последнее своим контактом включит пускатель *ПМ2*, т. е. вступит в работу компрессор *К2*. Реле *РУ2* после размыкания контакта *М2-Н* остается включенным через свой контакт и замкнутый контакт реле *РУ4*. Когда давление в ресиверах в результате совместной работы обоих компрессоров (или только *К2* при неисправном *К1*) поднимется до верхнего предела, замкнется контакт манометра *М2-В* и включится реле *РУ4*. В результате отключаются реле *РУ1* и *РУ2* и пускатели *ПМ1* и *ПМ2*. Оба компрессора остановятся.

В схеме предусмотрен контроль исправности компрессорной установки. Если несмотря на работу обоих компрессоров давление в ресиверах продолжает падать или не изменяется, то контакт *М2-Н* нижнего предела останется замкнутым, и реле *РУ3* будет включено. Оно своим контактом приведет в действие реле времени *РВ*, которое с некоторой выдержкой времени, необходимой для обеспечения нормального подъема давления компрессором *К2*, замкнет свой контакт *РВ* в цепи аварийно-предупредительной сигнализации, и персоналу будет подан сигнал о необходимости устранения неисправности.

Сигнальная лампа *ЛЖ* служит для световой сигнализации о режиме работы компрессорной установки при ручном управлении. Она загорается при падении давления в ресиверах, получая питание через контакт реле *РУ3*. Сигнальная лампа *ЛБ* и реле напряжения *РКН* служат для контроля наличия напряжения в цепях управления. Контроль температуры воздуха в компрессорах, охлаждающей воды и масла осуществляется специальными реле (на схеме не показаны), которые вместе с реле *РКН* воздействуют на цепи аварийно-предупредительной сигнализации, извещая персонал о ненормальной работе установки.

Для многих предприятий требуется бесперебойное снабжение производственных участков сжатым воздухом. С целью уменьшения количества персонала, который должен вести наблюдение за работой и своевременным включением (отключением) компрессоров, эти функции могут быть возложены на автоматизированный электропривод.

На рис. 17-7 приведена упрощенная электрическая схема автоматического управления синхронным двигателем (типа ДСК-260/24-36, $P_{ном}=625$ кВт, $\omega_0=17{,}5$ рад/с, $U_{ном}=6000$ В) двухцилиндрового поршневого воздушного компрессора (типа 55-В, $Q_{ном}=100$ м³/мин при $p=8\cdot10^5$ Па), входящего в компрессорную станцию из пяти агрегатов. Схема обеспечивает автоматическое включение и отключение двигателя *ДС* в зависимости от суточного графика потребления воздуха и давления в воздушной магистрали. В схеме предусмотрено также ручное (местное) управление двигателем компрессора. Переход на тот или иной режим осуществляется установкой переключателя *ПА* в соответствующее положение. При ручном управлении команда на пуск двигателя *ДС* подается переключателем *КУ*, запрет или разрешение на пуск устанавливается переключателем *КР*.

При пуске синхронный двигатель *ДС* подключается прямо на сеть масляным выключателем *ВМ*. Обмотка возбуждения двигателя наглухо подсоединена к возбудителю *В*, который приводится во вращение асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором *ДА*, включаемым одновременно с двигателем *ДС**. Катушка магнитного пускателя *ПМ* двигателя *ДА* получает питание через вспомогательные контакты выключателя *ВМ*. Масляный выключатель включается и отключается соответственно электромагнитами *ЭмВ* и *ЭмО*.

Выключатель *ВМ* может быть включен, если открыт разгрузочный вентиль воздухоочистительного устройства компрессора, что соответствует замкнутому состоянию контакта промежуточного реле *РПП*, а также обеспечено определенное давление масла в магистралях смазки компрессора. Давление масла контролируется механическим реле давления *РДМ1*, *РДМ2* и промежуточным реле *РПДМ*. При нормальном давлении контакт *РПДМ* в цепи катушки промежуточного реле защиты *РПЗ* открыт. По окончании пуска двигателя *ДС* разгрузочный вентиль закрывается, и компрессор подключается к ресиверу.

В цепь катушки *РПЗ* вводятся также контакты других реле (не показанных на рис. 17-7), контролирующих нормальную работу

* В последнее время большинство крупных синхронных двигателей комплектуется тиристорными возбудителями [21].

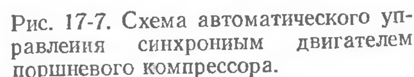


Рис. 17-7. Схема автоматического управления синхронным двигателем поршневого компрессора.

компрессора (*РПТ* — промежуточное реле датчика температуры сжатого воздуха; *РСВ* — струйное реле, сигнализирующее об уменьшении давления охлаждающей воды, *РВВ* — реле времени контроля исчезновения охлаждающей воды) и двигателя *ДС* (*РМ* — реле максимальной токовой защиты, срабатывающее при к. з., перегрузках и переходе двигателя в асинхронный режим; *РН* — реле напряжения, замыкающее свой контакт при исчезновении или чрезмерном снижении напряжения сети; *РКП* — реле контроля пуска, действующее совместно с токовым реле *РТ* и реле времени *РВКП*, оно включается при затянувшемся пуске, когда по истечении установленной выдержки времени реле *РВКП* ток двигателя не спадает до значения рабочего тока, и контакт реле *РТ* остается замкнутым). Последовательно с контактами указанных реле включены токовые катушки сигнальных реле *РС1*—*РС7*. Реле *РПЗ* закрывает свой контакт в цепи электромагнита *ЭмО* в тех случаях, когда создается цепь питания катушки *РПЗ* через соответствующие контакты реле контроля и защиты.

В режиме автоматического управления включение двигателя *ДС* производится с диспетчерского пункта от часового механизма, чей импульсный контакт *РЧ* включает промежуточное реле *РПЧ*, которое далее продолжает воздействовать на схему управления при открытом контакте *РЧ*. Контакт *РЧ* замыкается на 20—30 с обычно в начале смены. На основании данных суточного расхода воздуха на предприятии может быть задана и другая программа работы компрессорной установки, выполняемая для сохранения определенного давления воздуха в магистрали, которое контролируется реле давления с промежуточным реле *РПДВ*. При снижении давления воздуха замыкается контакт *РПДВ* в цепи катушки промежуточного реле *РПВ* и размыкается контакт *РПДВ* в цепи катушки промежуточного реле отключения *РПО*. Если подана команда от часового механизма и сработало реле *РПЧ*, то реле *РПВ* также срабатывает и своим контактом включает реле автоматического включения *РАВ*, которое замыкающим контактом подает питание в катушку *ЭмВ* выключателя *ВМ*. Происходит запуск компрессора. После включения реле *РПВ* катушка реле *РПЧ* теряет питание. Замкнувшийся вспомогательный контакт *ВМ* включает промежуточное реле *РПВМ*, которое отключает реле *РАВ* и подготавливает цепь включения реле *РАО*. Последующее замыкание контакта *РЧ* часового механизма (например, в конце смены) вызовет срабатывание реле автоматического отключения *РАО*. Однако включение промежуточного реле *РПО* и подача питания в катушку *ЭмО* выключателя *ВМ*, а значит, и остановка компрессора могут произойти только после того, как давление воздуха в магистрали станет выше допустимого и закроется замыкающий контакт реле *РПДВ*.

Повышение перегрузочной способности двигателя *ДС* и устранение возможности выпадания его из синхронизма при снижении напряжения сети достигается путем увеличения тока возбудителя *В*. Это осуществляется при помощи реле напряжения *РФ*, катушка которого подключается к сети через трансформатор напряжения, и контактора *КФ*. При $U_c = U_{ном}$ контакт *РФ* в цепи катушки *КФ* открыт. Если напряжение U_c снизится, то контакт *РФ* закроется, контактор *КФ* включится и зашунтирует своим контактом резистор $R_в$ в цепи обмотки возбуждения *ОВВ* возбудителя, что обеспечит увеличение тока возбуждения, а следовательно, и максимального момента синхронного двигателя *ДС*.

Глава восемнадцатая

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ НАСОСНЫХ УСТАНОВОК

18-1. НАЗНАЧЕНИЕ И УСТРОЙСТВО НАСОСОВ

Насосные установки широко применяются на электромашиностроительных предприятиях для перекачивания (транспортировки) жидких сред — вязких жидкостей, а также технологической и охлаждающей воды. Сюда относятся, например, насосы для перекачки охлаждающей эмульсии в металлообработке, насосы в системе водоснабжения и канализации, специальные насосы для химических сред (щелочей и кислот) в гальванических цехах, насосы для пропиточных составов, лакокрасочных материалов и т. д.

По способу действия насосы разделяются на поршневые и центробежные, их устройство подобно устройству прошневых и центробежных компрессоров (см. рис. 17-1).

Поршневые насосы применяются для перекачивания воды при больших высотах всасывания (до 5—6 м). Ввиду возвратно-поступательного движения поршня для таких насосов, как и для поршневых компрессоров, характерны неравномерность хода и пульсация нагрузки на валу (при всасывании жидкости имеет место холостой ход, при сжатии — рабочий ход). Работа поршневых насосов сопровождается поэтому неравномерным течением жидкости в напорном трубопроводе. Для сглаживания пульсаций нагрузки и повышения равномерности хода применяют в одном насосе несколько рабочих цилиндров, а на валу устанавливают маховик.

Поршневые насосы пускаются при открытой задвижке на напорном трубопроводе, иначе может произойти авария. Если насос работает на магистраль, где поддерживается постоянный напор H, то поршню при каждом ходе приходится преодолевать постоянное среднее усилие независимо от скорости перемещения. Среднее значение мощности на валу насоса $P_{ср}=cHQ$, но так как $H=\text{const}$, то $P_{ср}=c_1Q=c_2\omega$. Следовательно, среднее значение момента на валу насоса при постоянном противодавлении не зависит от угловой скорости вала:

$$M_{ср}=P_{ср}/\omega=c_2\,\omega/\omega=\text{const}.$$

Таким образом, поршневой насос пускается в ход под нагрузкой, и от приводного двигателя требуется повышенный пусковой момент.

Установки с центробежными насосами (рис. 18-1) получили наибольшое распространение. В спиральном корпусе *1* насоса помещается рабочее колесо *2* с лопатками. При вращении колеса двигателем *Д* жидкость, поступающая к центру колеса из заборного резервуара *6* через всасывающий трубопровод *7* и открытую задвижку *8*, центробежной силой выбрасывается по лопаткам на периферию корпуса. В результате в центре рабочего колеса создается разрежение, жидкость засасывается в насос, снова выбрасывается лопатками колеса на периферию корпуса и далее подается в напорный трубопровод *3*. Таким образом, в системе при открытой задвижке *5* создается непрерывное течение жидкости и центробежный насос имеет равномерный ход. Зависимость мощности на валу двигателя от скорости у этих насосов подобна аналогичным характеристикам центробежных компрессоров и вентиляторов (см. рис. 17-1, *г*), т. е. $P_{дв}=c\omega^3$.

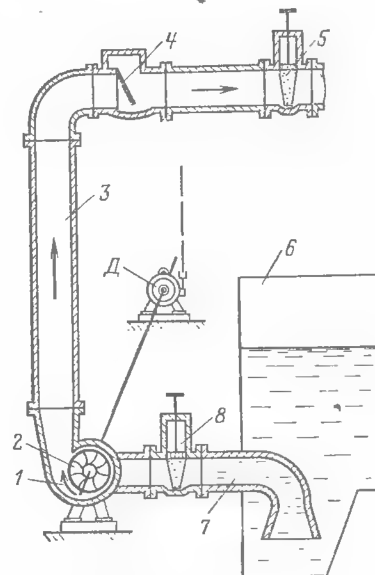


Рис. 18-1. Общий вид установки с центробежным насосом.

Перед пуском центробежный насос нужно заполнить жидкостью. Насос может находиться как ниже, так и выше уровня жидкости, подлежащей подъему или перекачке. Если он расположен ниже уровня жидкости (рис. 18-1), то для его заливки достаточно открыть вентиль *8*. Если же насос находится выше уровня перекачиваемой жидкости, то для заливки требуется создать разрежение внутри корпуса насоса при помощи специального вакуум-насоса, в качестве которых обычно применяют порш-

невые насосы. В последнее время для заливки таких насосов стали применять аккумуляторные баки (см. рис. 18-5,*б*). Такой бак устанавливается выше уровня насоса, через него проходит всасывающий трубопровод, и после остановки насос оказывается залитым жидкостью, как если бы он находился ниже заборного резервуара.

После заливки корпуса насоса может быть включен приводной двигатель. Применяют три способа пуска центробежных насосов:

Пуск при закрытой напорной задвижке 5 (рис. 18-1), при котором плавно повышается давление в напорном трубопроводе и исключается гидравлический удар в системе. От двигателя не требуется повышенный пусковой момент, так как пуск происходит практически вхолостую (момент $M_{с,п}$ на валу двигателя составляет 10—20% $M_{ном}$ в начале пуска и 30—40% в конце), но дополнительно тратится время на последующее открывание задвижки.

Пуск при открытой напорной задвижке удобен, если насос расположен ниже уровня жидкости в заборном резервуаре и имеется обратный клапан *4* (рис. 18-1). В этом случае не тратится время на открывание задвижки, и общее время пуска агрегата меньше, хотя пуск самого двигателя более длителен из-за увеличения $M_{с,п}$.

Пуск с одновременным включением привода открывания напорной задвижки насоса можно рассматривать как частные случаи первого и второго способов в зависимости от соотношения времени открывания задвижки и пуска насоса.

При остановке насоса надо вначале медленно — во избежание гидравлического удара — закрыть напорную задвижку, а затем отключить двигатель насоса. Предварительное закрывание задвижки до остановки насоса необходимо при отсутствии обратного клапана для предотвращения работы насоса в качестве гидротурбины под напором жидкости, находящейся в системе. Такой режим может привести к аварии насосного агрегата.

18-2. ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА И ВЫБОР МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЕЙ НАСОСОВ

Насосы относятся к числу механизмов с продолжительным режимом работы и постоянной нагрузкой. При отсутствии электрического регулирования скорости в

насосных агрегатах небольшой мощности обычно применяют асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором, питаемые от сети 380 В. Для привода насосов мощностью свыше 100 кВт устанавливают асинхронные и синхронные двигатели на 6 и 10 кВ с прямым пуском, т. е. с включением на полное напряжение сети.

Двигатели поршневых насосов соединяются с валом насоса через замедляющую передачу (клиноременную или зубчатую), поскольку поршневые насосы являются тихоходными механизмами. Центробежные насосы в большинстве случаев выполняются быстроходными, поэтому их приводные двигатели имеют высокую угловую скорость (ω_0=150—300 рад/с) и соединяются с валом насоса непосредственно.

Мощность двигателя насоса $P_{дв}$, кВт, определяется по формуле

$$P_{дв} = k_з \frac{\rho g Q (H_с + \Delta H)}{\eta_{ном}\, \eta_п} 10^{-3}, \qquad (18\text{-}1)$$

где ρ — плотность перекачиваемой жидкости, кг/м^3; g=9,81 — ускорение свободного падения, м/с^2; Q — производительность насоса, м^3/с; $H_с$ — статический напор, определяемый, как сумма высот всасывания $h_в$ и нагнетания $h_н$, м (рис. 18-2); ΔH — потеря напора в трубопроводах насосной установки, м, который зависит от сечения и качества обработки труб, кривизны участков трубопровода, наличия вентилей и задвижек и т. д.; $\eta_{ном}$ — КПД насоса, принимаемый: для поршневых насосов 0,7—0,9; для центробежных насосов с давлением свыше $0{,}4\cdot10^5$ Па 0,6—0,75; с давлением до $0{,}4\cdot10^5$ Па 0,45—0,6; $\eta_п$ — КПД передачи, равный 0,9—0,95; $k_з$ — коэффициент запаса; рекомендуется принимать его 1,1—1,3 в зависимости от мощности двигателя.

Для центробежного насоса особо важен правильный выбор угловой скорости двигателя, так как производительность насоса Q, создаваемый им напор H, момент M и мощность P на валу двигателя зависят от угловой скорости ω. Для одного и того же насоса значения Q_1, H_1, M_1 и P_1 при скорости ω_1 связаны со значениями Q_2, H_2, M_2, и P_2 при скорости ω_2 соотношениями:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2}; \quad \frac{H_1}{H_2} = \frac{M_1}{M_2} = \frac{\omega_1^2}{\omega_2^2}; \quad \frac{P_1}{P_2} = \frac{\omega_1^3}{\omega_2^3}. \qquad (18\text{-}2)$$

Из этих соотношений следует, что при завышении скорости двигателя потребляемая им мощность резко возрастает, что приводит к перегреву двигателя. При заниженном значении скорости двигателя создаваемый насосом напор может оказаться недостаточным, и насос не будет перекачивать жидкость.

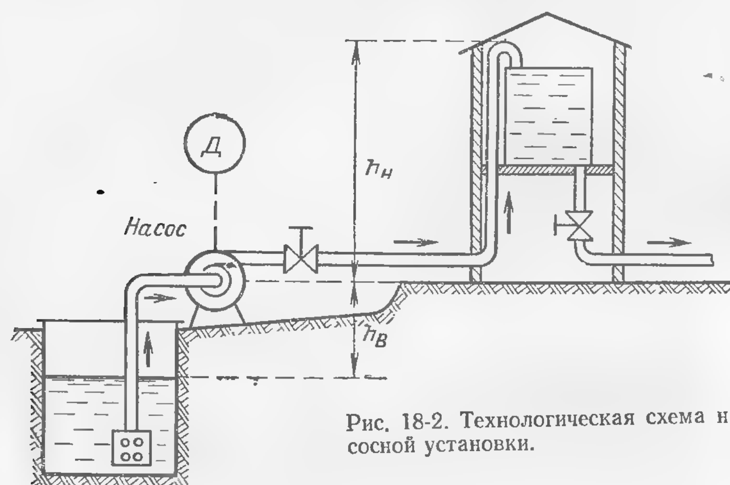


Рис. 18-2. Технологическая схема насосной установки.

Эксплуатационные свойства механизмов центробежного типа (насосов, компрессоров и вентиляторов) определяются зависимостью напора H (давления жидкости или газа на выходе механизма) от производительности Q при различных угловых скоростях ω механизма. Эти зависимости, называемые Q—H-характеристиками, обычно приводятся в виде графиков в каталогах для каждого конкретного механизма.

На рис. 18-3, *а* показаны Q—H-характеристики *1—5* центробежного насоса. Чтобы определить параметры H и Q насоса, необходимо знать Q—H-характеристику магистрали (потребителя), на которую будет работать насос (кривые *д* и *с*). Пересечение характеристик насоса и магистрали дает значения Q и H, т. е. определяет режим работы механизма при различных скоростях его рабочего колеса. Полный напор в системе складывается из статического $H_с$ и динамического $H_{дин}$ напоров, при этом вторая составляющая напора пропорциональна квадрату скорости или квадрату производительности насоса, т. е.

$$H = H_с + H_{дин} = H_с + cQ^2. \qquad (18\text{-}3)$$

В системе с преобладанием статического напора (кривая *с* на рис. 18-3, *а*) при незначительном изменении скорости двигателя от $\omega_1 = \omega_{ном}$ до ω_3 характеристика

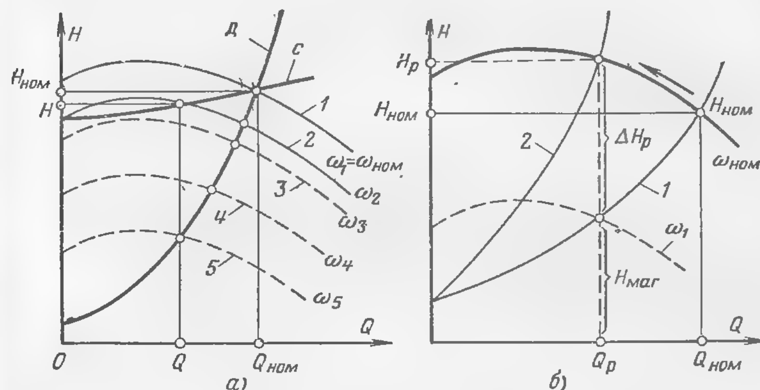


Рис. 18-3. Q—H-характеристики центробежного насоса.

а — при различных скоростях рабочего колеса; *б* — при регулировании производительности с помощью дроссельных задвижек.

насоса не пересекается с характеристикой системы. Это значит, что насос перестает подавать жидкость в систему. Такое положение может иметь место при асинхронном приводе насоса, когда снижение напряжения сети $U_с$ обусловливает уменьшение скорости двигателя, что может вызвать остановку насоса.

Если в системе преобладает динамический напор (кривая *д*), то снижение $U_с$ не приводит к остановке асинхронного двигателя, однако производительность насоса уменьшается. При синхронном приводе насоса снижение $U_с$ не изменяет скорости двигателя, и подача жидкости в систему не прекращается, но оно вызывает увеличение угла отставания θ ротора от статора и уменьшение M_{max} синхронного двигателя; при значительном снижении $U_с$ двигатель выпадает из синхронизма и останавливается.

18-3. РЕГУЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МЕХАНИЗМОВ С ВЕНТИЛЯТОРНЫМ МОМЕНТОМ НА ВАЛУ

Этот вопрос имеет большое значение в установках центробежных вентиляторов, насосов и компрессоров с переменным расходом жидкости или газа. Производительность Q таких механизмов можно регулировать разными способами: дросселированием трубопровода; изменением угловой скорости приводного двигателя; изменением числа работающих на магистраль агрегатов; изменением положения рабочих органов механизма в процессе регулирования (например, поворотных лопаток на рабочем колесе).

Все способы регулирования Q связаны с потерями энергии. На промышленных предприятиях наибольшее распространение получили первые два способа. Для их оценки произведем сравнение присущих им потерь мощности.

Регулирование дросселированием осуществляется введением задвижек в трубопровод, что приводит к изменению результирующего сопротивления и вида характеристики магистрали *1* (рис. 18-3, *б*). При неизменной угловой скорости рабочая точка механизма при дросселировании перемещается влево по Q—H-характеристике от точки $H_{\text{ном}}$ до точки $H_{\text{р}}$ пересечения с новой характеристикой магистрали *2* и производительность уменьшается. При этом часть напора $\Delta H_{\text{р}}$ теряется на регулирующем устройстве.

Если принять, что $H_{\text{ном}}$ и $Q_{\text{ном}}$ — номинальные значения напора и производительность механизма при работе без задвижки, а $H_{\text{р}}$ и $H_{\text{маг}}$ — напоры, создаваемые до задвижки и в магистрали после нее, то качество регулирования дросселированием может быть оценено КПД установки

$$\eta_{\text{др,р}} = \frac{H_{\text{маг}}Q}{(H_{\text{маг}}+\Delta H_{\text{р}})Q} = \frac{H_{\text{маг}}}{H_{\text{р}}} = 1 - \frac{\Delta H_{\text{р}}}{H_{\text{р}}}. \qquad (18\text{-}4)$$

При отсутствии статического напора в магистрали $H_{\text{маг}} = cQ^2 = H_{\text{ном}}(Q/Q_{\text{ном}})^2$ и в этом случае

$$\eta_{\text{др,р}} = (H_{\text{ном}}/H_{\text{р}})(Q/Q_{\text{ном}})^2 \approx (Q/Q_{\text{ном}})^2. \qquad (18\text{-}5)$$

Из выражения (18-5) следует, что при уменьшении Q в 2 раза КПД установки уменьшится в 4 раза. Детальный анализ мощности потерь при регулировании Q задвижками показывает, что максимум потерь имеет место при отношении $Q/Q_{\text{ном}}=0{,}576$ и равен

$$\Delta P_{max} = 0{,}385\,P_{2\text{ном}}, \qquad (18\text{-}6)$$

где $P_{2\text{ном}}$ — мощность на валу двигателя в номинальном режиме.

Поэтому данный способ применяется только в установках мощностью в несколько киловатт, в которых преобладает статический напор, при небольшом диапазоне регулирования производительности.

Регулирование изменением угловой скорости двигателя, а значит, и механизма, производится введением добавочного сопротивления в цепь ротора или дросселей насыщения в цепь статора асинхронного двигателя. При преобладании в системе статического напора (рис. 18-3, *а*, кривая *с*) незначительное изменение скорости от $\omega_{\text{ном}}$ до ω_2 приводит к значительному изменению производительности от $Q_{\text{ном}}$ до Q. При преобладании динамического напора (кривая *д*) для такого же снижения производительности необходимо большее снижение скорости двигателя — от $\omega_{\text{ном}}$ до ω_5.

Для оценки этого способа регулирования определим потери мощности в роторе асинхронного двигателя, которые пропорциональны изменению скорости или скольжения, но имеют ограниченный максимум.

Мощность P_2 на валу двигателя, вращающего механизм с вентиляторной характеристикой, пропорциональна третьей степени скорости:

$$P_2 = P_{2\text{ном}}(\omega/\omega_{\text{ном}})^3. \qquad (18\text{-}7)$$

Электромагнитная мощность P_{12} двигателя

$$P_{12} = P_2/(1-s) = P_2(\omega_0/\omega);$$

после подстановки в это уравнение значения P_2 из (18-7) получим:

$$P_{12} = P_{2\text{ном}}\left(\frac{\omega}{\omega_{\text{ном}}}\right)^3\frac{\omega_0}{\omega} = P_{2\text{ном}}\frac{\omega_0}{\omega_{\text{ном}}}\left(\frac{\omega}{\omega_{\text{ном}}}\right)^2. \qquad (18\text{-}8)$$

Потери в роторной цепи двигателя при регулировании угловой скорости, если не учитывать потери в стали и механические потери, определяются разностью P_{12} и P_2, т. е.

$$\Delta P_2 = P_{12} - P_2 = P_{2\text{ном}}\frac{\omega_0}{\omega_{\text{ном}}}\left(\frac{\omega}{\omega_{\text{ном}}}\right)^2 - P_{2\text{ном}}\left(\frac{\omega}{\omega_{\text{ном}}}\right)^3. \qquad (18\text{-}9)$$

Исследуя выражение (18-9) на максимум, можно определить максимальные потери в роторной цепи при регулировании скорости:

$$\left.\begin{aligned} &\Delta P_{2max} = (4/27)\,P_{\text{ном}}(\omega_0/\omega_{\text{ном}}) \\ \text{или}\quad &\Delta P_{2max} = (0{,}154 - 0{,}162)\,P_{2\text{ном}}; \end{aligned}\right\} \qquad (18\text{-}10)$$

они имеют место при скорости $\omega_{max} = 2/3\,\omega_0$.

Сопоставление полученного результата с (18-6) показывает, что электрический способ регулирования производительности Q более экономичен, чем дросселирование, так как максимальные потери мощности уменьшаются более чем в 2 раза.

Для установок большой мощности (несколько сотен или тысяч киловатт) рассмотренные способы регулирования угловой скорости асинхронных двигателей становятся неэкономичными. В этих случаях применяют каскадные схемы электроприводов, в которых потери скольжения ΔP_2 возвращаются в сеть или преобразуются в механическую мощность и поступают на вал механизма. Преобразование энергии скольжения осуществляется с помощью вентильных схем, либо с использованием вспомогательных машин, которые размещаются на одном валу с главным двигателем [21].

Регулирование изменением числа работающих агрегатов производится путем включения на параллельную работу нескольких агрегатов меньшей мощности. Если в магистрали преобладает статический напор, то общая производительность совместно работающих агрегатов равняется сумме производительностей каждого агрегата, чем обеспечивается их экономичная работа. При преобладании динамического напора общая производительность увеличивается незначительно, а работа агрегатов происходит с пониженным КПД.

18-4. СПЕЦИАЛЬНАЯ АППАРАТУРА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ НАСОСНЫХ УСТАНОВОК

Кроме аппаратуры общего назначения — контакторов, пускателей, промежуточных реле, универсальных переключателей и т. п. в системах автоматизации насосных установок используют специальные аппараты управления и контроля: реле контроля уровня жидкости, струйные реле, реле давления, реле контроля заливки центробежных насосов.

В качестве реле контроля уровня применяют поплавковые реле, электродные реле уровня, манометры различных типов, устанавливаемые на сливном трубопроводе, датчики емкостного типа, радиоактивные датчики.

Поплавковые реле уровня применяют обычно для контроля уровня неагрессивных жидкостей. На рис. 18-4, *а* показано схематическое устройство такого реле. В открытый резервуар, в котором контролируется уровень жидкости, погружен поплавок *1*, подвешенный на гибком канате через блок *3* и уравновешенный грузом *6*. На канате укреплены две переключающие шайбы *2* и *5*, которые при предельных уровнях жидкости в резервуаре поворачивают коромысло *4* контактного устройства *8*. При поворотах коромысло замыкает соответственно контакты *7* или *9*.

Электродное реле (датчик) уровня, схематически показанное на рис. 18-4, *б*, применяют для контроля уровня электропроводных жидкостей. Реле состоит из двух металлических электродов *1* и *2*, помещенных в кожухе *3*, который опускается в резервуар *4* с жидкостью. Электроды реле включены в цепь катушки малогабаритного промежуточного реле *РП* (электромагнитное реле телефонного типа), которое питается от понижающего трансформатора *Тр*.

При подъеме уровня жидкости в резервуаре до короткого электрода *1* образуется электрическая цепочка: вторичная обмотка *Тр*—катушка *РП* — электрод *1*— жидкость — корпус *4* резервуара. Реле *РП* срабатывает и становится на самопитание через свой контакт и электрод *2*, а другим контактом производит переключения в цепях управления насосного агрегата, вводя его в работу. При опускании уровня жидкости ниже электрода *2* цепь питания катушки *РП* прерывается, контакты *РП* размыкаются, вследствие чего насосный агрегат отключается. По условиям безопасности реле *РП* выбирают обычно на низкое напряжение.

Реле контроля заливки центробежных насосов могут работать также на принципе поплавка, но в настоящее время стали широко применять реле мембранного

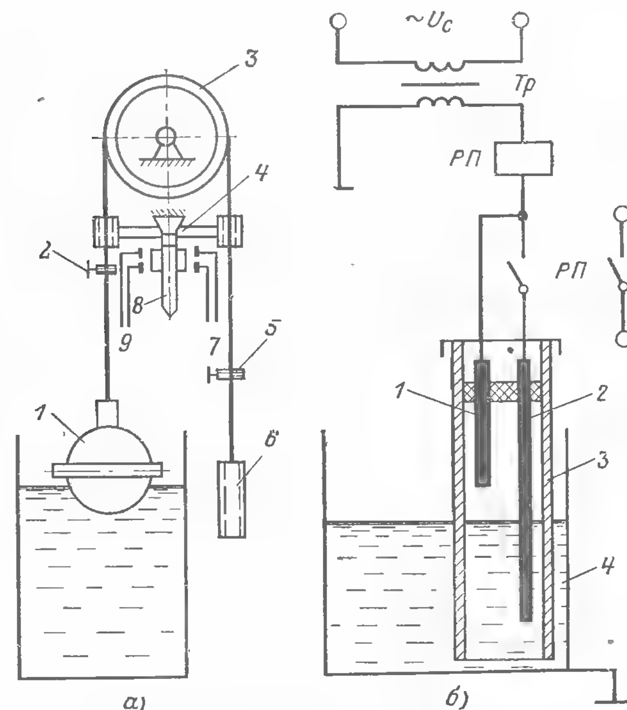


Рис. 18-4. Специальная аппаратура управления насосными установками.

а — поплавковое реле уровня; *б* — схема электродного датчика (реле) уровня.

типа. Такие реле устанавливаются на 0,3—0,5 м выше уровня насоса. При заливке его жидкостью мембрана прогибается, перемещает прикрепленный к ней шток, который переключает контактную систему реле. После снижения давления мембрана пружиной возвращается в исходное положение. Достоинством мембранных реле является большая чувствительность и способность выдерживать высокие давления, они применяются, в част-

ности, при заливке насосных агрегатов с помощью вакуум-насоса.

Струйные реле используют для контроля наличия потока (струи) жидкости в трубопроводе. Существует много конструкций струйных реле. Наибольшее применение нашли диафрагменные струйные реле, устройство одного из них показано на рис. 17-4, *б*.

Реле давления применяют в насосных установках для контроля за давлением жидкости на различных участках магистрали. В практике эксплуатации насосов наибольшее распространение получили реле с мембранной или трубчатой пружиной (см. рис. 17-4, *а*).

18-5. СХЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ НАСОСНЫХ УСТАНОВОК

Рассмотрим примеры построения схем управления электроприводами насосных агрегатов, поясняющие основные принципы, используемые при автоматическом управлении работой указанных механизмов.

На рис. 18-5, *а* приведена схема автоматизации простейшего насосного агрегата, предусматривающая два режима управления: ручное и автоматическое. Выбор режима производится с помощью ключа *КУ*. Если рукоятка *КУ* поставлена в положение *Р* (ручное), то управление двигателем *Д* насоса осуществляется по обычной схеме — с помощью кнопок *КнП* (*Пуск*), *КнС* (*Стоп*) и магнитного пускателя *ПМ*. Включение или отключение насоса в этом случае производится оператором, который следит за уровнем жидкости в резервуаре (рис. 18-5, *б*). Для заливки насоса используется аккумуляторный бак *1*.

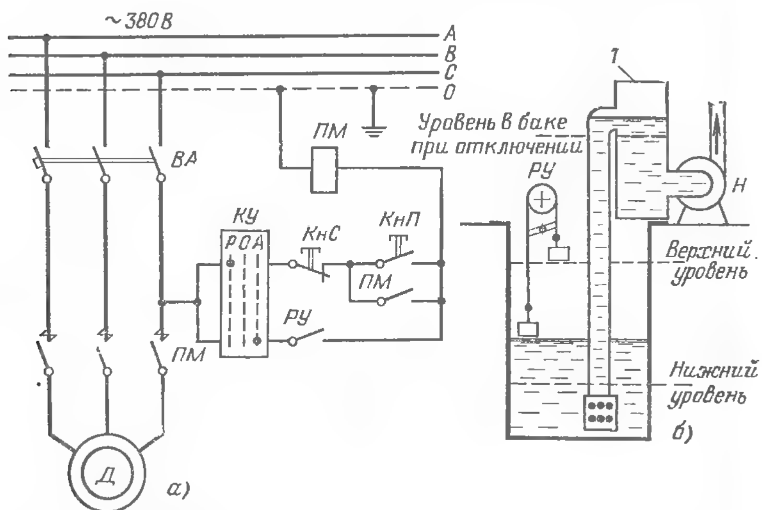


Рис. 18-5. Автоматизация работы насоса.

а — схема управления двигателем; *б* — технологическая схема установки.

При установке ключа *КУ* в положение *А* автоматическое управление двигателем насоса производится от датчика уровня (поплавкового реле) *РУ*. При малом уровне жидкости в резервуаре контакт *РУ* разомкнут, и насос не включен. Если жидкость достигает верхнего уровня, контакт *РУ* замкнут, получает питание катушка пускателя *ПМ* и включается двигатель *Д*. Насос начинает работать и перекачивать жидкость из емкости к потребителю. Контакт *РУ* поплавкового реле остается замкнутым до тех пор, пока уровень жидкости в резервуаре не снизится до нижней отметки. Тогда контакт *РУ* разомкнется, что вызовет отключение пускателя *ПМ* и остановку двигателя насоса.

Защита двигателя и аппаратов управления от к. з. и перегрузки осуществляется автоматическим выключателем *ВА*, имеющим комбинированный расцепитель. Нулевая защита обеспечивается катушкой магнитного пускателя. Датчик уровня *РУ* в этой схеме работает без понижающего трансформатора, а импульс управления с *РУ* передается в схему непосредственно — без промежуточного реле. Такую схему можно применять при небольшом расстоянии между насосом и резервуаром, когда падение напряжения в проводах, соединяющих катушку *ПМ* с контактами реле *РУ*, невелико.

Рассмотрим схему автоматического управления двумя насосными агрегатами *Н1* и *Н2* (рис. 18-6), эксплуатируемыми без дежурного персонала. Работа схемы основана на принципе пуска и остановки насосов в зависимости от уровня жидкости в контролируемом резервуаре, из которого производится откачка. Для контроля заполнения бака жидкостью применяется электродный датчик уровня *ДУ*. Схема разработана для условий пуска и остановки насосных агрегатов при постоянно открытых задвижках на выходном трубопроводе. Из двух агрегатов один является рабочим, а второй — резервным. Режим работы агрегатов задается переключате-

лем откачки *ПО*: в положении *I* переключателя насос *Н1* с двигателем *Д1* будет рабочим, а насос *Н2* с двигателем *Д2* — резервным, который включается, если производительность насоса *Н1* окажется недостаточной.

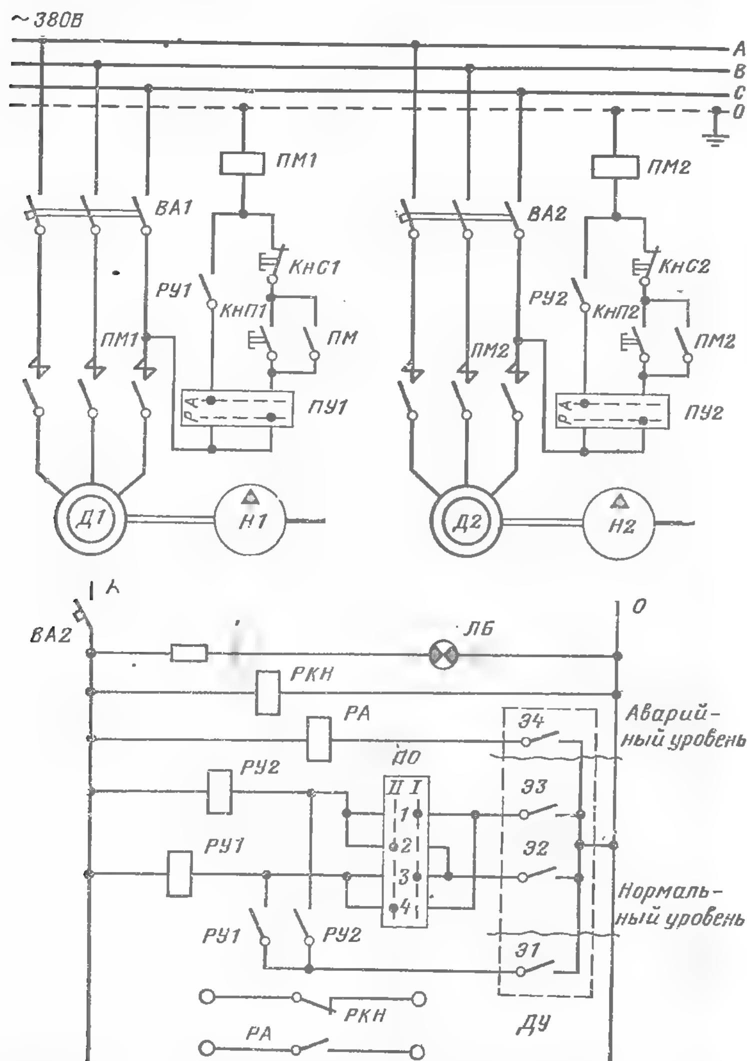


Рис. 18-6. Схема автоматического управления двумя откачивающими насосами.

В положении *II* рабочим является насос *Н2*, а резервным — *Н1*.

Рассмотрим работу схемы, когда *ПО* установлен в положение *I*, а переключатели *ПУ1* и *ПУ2* — в положение *А*, т. е. на автоматическое управление насосами. Контакты *1* и *3* переключателя *ПО* замыкают цепи катушек реле *РУ1* и *РУ2*, но реле не включатся, так как при нормальном уровне жидкости остаются разомкнутыми электроды *Э2* и *Э3* датчика уровня *ДУ*. При повышении уровня жидкости в емкости до электрода *Э2* замыкается цепь катушки реле *РУ1*, оно срабатывает, и через замыкающий контакт *РУ1* подается питание в катушку пускателя *ПМ1*. Включается двигатель *Д1*, и насос *Н1* начинает откачку. Уровень жидкости в емкости понижается, но при разрыве контакта *Э2* двигатель *Д1* не остановится, так как катушка реле *РУ1* продолжает получать питание через свой контакт *РУ1* и замкнутый контакт электрода *Э1*. Такая блокировка реле *РУ1* применена во избежание частых пусков и остановок насосного агрегата при небольших изменениях уровня жидкости и обеспечивает отключение насоса лишь тогда, когда уровень жидкости спадет ниже нормального и разомкнется контакт *Э1*.

Если произойдет аварийное отключение рабочего насоса или производительность его окажется недостаточной, то уровень жидкости в резервуаре будет продолжать повышаться. Когда он достигнет электрода *Э3* датчика *ДУ*, получит питание катушка реле *РУ2*. Реле сработает и включит магнитный пускатель *ПМ2*; включится двигатель *Д2* резервного насоса. Отключение резервного агрегата произойдет при спадании уровня жидкости ниже электрода *Э1*.

Если по каким-либо причинам будет иметь место большой приток жидкости в резервуар, то производительность обоих насосных агрегатов может оказаться недостаточной, и жидкость поднимется до предельно допустимого уровня, на котором установлен электрод *Э4*. При этом замкнется цепь катушки реле *РА*, которое сработает и своим замыкающим контактом включит цепь аварийной сигнализации, оповещая персонал о ненормальной работе насосных агрегатов. Для подачи предупредительного сигнала при исчезновении напряжения в цепях управления служит реле контроля напряжения *РКН*. Цепи аварийной сигнализации питаются от

самостоятельного источника. Белая сигнальная лампа *ЛБ* служит для оповещения о наличии напряжения в цепях управления при контрольных осмотрах аппаратуры.

Переход на ручное (местное) управление насосными агрегатами производится поворотом переключателей *ПУ1* и *ПУ2* в положение *Р*. Включение и отключение двигателей *Д1* или *Д2* производится нажатием кнопок *КнП1* и *КнС1* или *КнП2* и *КнС2*, расположенных непосредственно у насосных агрегатов.

Схема может быть применена для управления двигателями мощностью до 10 кВт, так как цепи катушек магнитных пускателей защищаются теми же автоматическими выключателями *ВА1* и *ВА2*, что и двигатели. При двигателях большей мощности для цепей катушек *ПМ1* и *ПМ2* следует применять самостоятельную защиту. Схема на рис. 18-6 с незначительными изменениями используется и для управления работой насосов перекачки охлаждающей эмульсии для металлорежущих станков.

В рассмотренных схемах командная и исполнительная части расположены обычно в одном и том же помещении, а за пределы установки вынесены лишь оперативная и аварийно-предупредительная сигнализация. В более сложных схемах автоматизации насосных агрегатов командная и исполнительная части находятся в различных, иногда весьма удаленных друг от друга местах.

На рис. 18-7 приведена электрическая схема управления насосной задвижкой (запорным вентилем на трубопроводе), которая открывается и закрывается небольшим асинхронным двигателем *Д2* через редуктор. Пусть насос отключен, и задвижка закрыта (это фиксируется размыканием конечного выключателя *ВК1*). При подаче напряжения на схему загорается вполнакала зеленая лампа *ЛЗ*. Включение насосного агрегата производится поплавковым реле уровня *РУ*, которое замыкает один контакт в цепи управления двигателем *Д1* насоса *Н*, а другой — в цепи катушки промежуточного реле *РП1* двигателя задвижки *Д2*.

После того как насос будет пущен и давление повысится до нормального значения, замкнет свой контакт реле давления *РД* в цепи катушки реле *РП1*. Это реле включится, закроет свой замыкающий контакт в цепи катушки контактора открывания задвижки *КО* и откроет размыкающий контакт в цепи катушки контактора закрывания задвижки *КЗ*. Контактор *КО* сработает и включит двигатель *Д2* на открывание задвижки. Открывание контролируется конечным выключателем *ВК2* и ярко горящей красной сигнальной лампой *ЛК*. Выключатель *ВК2* разомкнет свой контакт, когда задвижка полностью откроется. При этом контактор *КО* отключится, двигатель

Д2 остановится, погаснет горевшая вполнакала зеленая лампа *ЛЗ*, а красная лампа *ЛК* будет гореть тускло.

Процесс открывания задвижки, кроме того, контролируется аварийным конечным выключателем *ВКА*. При неисправности открывающих и закрывающих устройств этот выключатель отключает всю схему управления двигателем задвижки, о чем сигнализирует погасание обеих ламп. Замыкание контакта выключателя *ВКА* производится оператором при ручном закрывании задвижки.

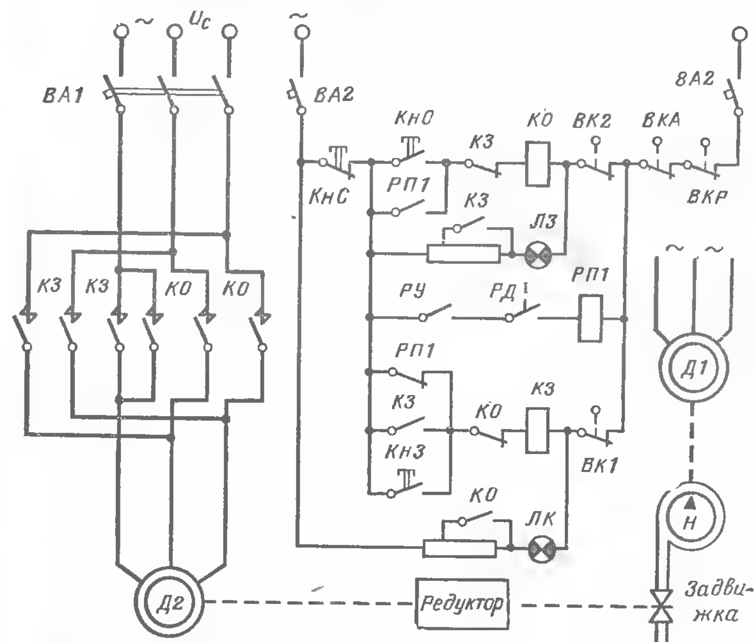


Рис. 18-7. Электрическая схема автоматического управления задвижкой насосного агрегата.

Импульсы на закрывание задвижки подаются от поплавкового реле уровня *РУ* и реле давления *РД*. Размыкание контактов этих реле ведет к обесточиванию промежуточного реле *РП1* и замыканию его контакта в цепи катушки контактора *КЗ*, который срабатывает и включает двигатель *Д2* на закрывание задвижки. При этом замыкается контакт выключателя *ВК2*, и процесс закрывания происходит при ярко горящей зеленой *ЛЗ* и тускло горящей красной *ЛК* лампах. Когда задвижка закроется, конечный выключатель *ВК1* отключит контактор *КЗ* и двигатель остановится. Красная лампа *ЛК* погаснет, а зеленая *ЛЗ* будет гореть вполнакала.

Кроме автоматического управления двигателем задвижки схема предусматривает дистанционное управление оператором при помощи кнопок *КнЗ* и *КнО*, установленных в цепи катушек контакторов

КЗ и *КО*. Для исключения возможности дистанционного управления задвижкой при ручном ее открывании или закрывании введена механическая блокировка, которая осуществляется размыканием контакта выключателя *ВКР*.

Рассмотренная схема может применяться для отдельного электропривода или же входить в состав более сложной схемы управления насосными агрегатами. Например, в центробежных насосах, требующих автоматической заливки корпуса при помощи вакуум-насоса, командный импульс для запуска насосного агрегата дает реле уровня, которое через промежуточное реле включает двигатель вакуум-насоса и подает питание на двигатели или электромагниты, открывающие заливочный вентиль и вентиль вакуум-насоса.

В последнее время появились системы замкнутого регулирования (с обратными связями), в которых для поддержания постоянства давления в напорном трубопроводе и регулирования производительности производится изменение угловой скорости двигателя насоса. Для этого обмотку статора асинхронного двигателя подключают к сети через дроссели насыщения или тиристорный регулятор напряжения, управление которыми осуществляется от датчика давления через регуляторы на полупроводниковых элементах.

В тех насосных агрегатах, где управление двигателями насосов и задвижек производится с диспетчерского пункта, важно иметь в схемах надежную аппаратуру управления с минимальным количеством подвижных частей и контактов. Поэтому в схемах управления насосами стали широко применяться бесконтактные логические и полупроводниковые элементы в сочетании с герметизированными магнитоуправляемыми контактами (герконами) — например типа МКА-52202 с числом включений до $2{,}5 \cdot 10^6$, на основе которых создаются реле, датчики, переключатели и другие устройства, заменяющие контактные негерметизированные аппараты управления.

Глава девятнадцатая

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ УСТАНОВОК ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ

19-1. ГАЛЬВАНИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

Для нанесения металлических покрытий на другие металлы широко используется электролитический способ — гальваностегия. Изделие (катод) соединяется с

отрицательным полюсом источника постоянного тока и погружается в ванну с электролитом — кислотным или щелочным раствором, который содержит ионы покрывающего металла. В ванну погружается электрод из покрывающего металла (анод), соединенный с положительным полюсом источника тока. В процессе электролиза металл анода переносится через электролит и осаждается на изделии.

Способом гальваностегии наносят антикоррозионное и декоративное покрытия металлических деталей электрических машин, для изготовления пластмассовых и миканитовых деталей коллекторов, контактных колец и т. п.

Количество осажденного металла пропорционально количеству прошедшего через электролит электричества с учетом потерь из-за побочных химических реакций, утечек тока и других причин.

Время t, мин, выдержки изделий в гальванической ванне для получения слоя покрытия толщиной h, мкм, определяется по формуле

$$t = \frac{\rho h \cdot 10^{-6}}{60 \eta_т c \delta_к},$$

где c — электрохимический эквивалент покрывающего вещества, кг/К, т. е. кг/(А·с); $\eta_т$ — катодный выход металла по току (отношение фактического количества выделившегося вещества к теоретическому); ρ — плотность покрывающего вещества, кг/м³; $\delta_к$ — катодная плотность тока, А/м².

Наиболее распространены такие процессы нанесения покрытий, как цинкование, хромирование, никелирование, лужение, свинцевание, оксидирование. Температура электролита должна лежать в пределах от +20 до +80° С. Толщина наносимого слоя колеблется в широких пределах в зависимости от свойств покрытий, их назначения и условий эксплуатации. Например, цинковые покрытия для защиты черных металлов от коррозии имеют толщину 10—50 мкм, защитно-декоративные покрытия из хрома — до нескольких микрон. Применяются также многослойные покрытия, например медь-никель-хром. Для повышения коррозионной стойкости изделия из алюминия и его сплавов используют электролитическое утолщение оксидной пленки до 10—

12 мкм. Процесс оксидирования характерен тем, что анодом служит изделие.

Электролит может иметь несколько вариантов (номеров ванн), отличающихся концентрацией компонентов. Осаждение металла сопровождается его кристаллизацией, и желательны покрытия с мелкими кристаллами (зернами). Поэтому выбирают тот вариант электролита, при котором получается мелкозернистое покрытие. Качество покрытия улучшается, если 2—6 раз в минуту менять направление тока. При повышенной температуре электролита (40—80° С) можно увеличить плотность тока и повысить производительность процесса. Обычно электролиты допускают плотность тока в пределах 10^2—10^3 А/м²; при подогреве и перемешивании электролита допустимы большие плотности тока.

Гальванические ванны представляют собой прямоугольные резервуары из листовой стали. Для кислотных электролитов ванны внутри футеруются материалом, не вступающим во взаимодействие с электролитом, например свинцом, винипластом, резиной. Ванны изготовляют также из полистирола.

Перед нанесением покрытий производят тщательную подготовку поверхности изделий: механическую обработку (очистку пескоструйным аппаратом, вращающимися щетками из проволоки, шлифование и полирование специальными пастами) и химическую или электрохимическую обработку. Последняя состоит из электролитического обезжиривания и травления в растворах кислот или щелочей. Изделие погружается в ванну с раствором и служит одним из электродов. В процессе электролиза раствора выделяющиеся на поверхности изделия пузырьки газа (водорода на и з д е л и и — к а т о д е или кислорода на и з д е л и и — а н о д е) отрывают от поверхности изделия капли жиров, масел, грязи и т. п. При травлении (с бóльшими, чем при обезжиривании, плотностями тока) происходит как отрыв пленок окислов пузырьками газа, так и восстановление окислов или их электролитическое растворение. Последним этапом подготовки изделий, непосредственно перед поступлением в гальваническую ванну для нанесения покрытий, служит электрохимическое декапирование, т. е. легкое анодное травление в слабых растворах кислот.

Электрооборудование и схемы питания гальванических ванн. Для питания ванн применяют постоянный ток до нескольких тысяч ампер при напряжении 6—12 В. В качестве источников тока используют электромашинные преобразователи серии АДН с генераторами на токи от 250 до 10 000 А при напряжении 6—12 или 9 В или полупроводниковые выпрямители на токи от 200 до 25 000 А при напряжении 6—28 В.

Генераторы электромашинных преобразователей на ток до 1500 А изготовляются с самовозбуждением. Более мощные генераторы имеют отдельный возбудитель с напряжением 110 В. Изменение напряжения генератора с 6 на 12 В осуществляют, переключая обмотки якоря с параллельного соединения на последовательное. При этом допустимый ток генератора уменьшается вдвое.

Полупроводниковые выпрямители в настоящее время стали основным видом источников питания гальванических установок. Выпрямители с неуправляемыми вентилями серий ВАКГ, ВАЗ и другие и тиристорные выпрямители серии ВАК выпускаются на токи от 100 до 25 000 А и напряжения от 6 до 48 В. Изготовляются также выпрямители серии ВАКР с реверсированием тока нагрузки.

На рис. 19-1 показаны упрощенные схемы источников питания гальванических ванн: электромашинного (рис. 19-1, *а*), неуправляемого выпрямителя (рис. 19-1, *б*) и тиристорного выпрямители (рис. 19-1, *в*). Выпрямители с неуправляемыми вентилями построены по трехфазной схеме выпрямления с уравнительным реактором *РУ* и снабжены переключателем *П*, при помощи которого можно переключать отпайки первичной обмотки трансформатора *Тр*, изменяя выпрямленное напряжение. В других исполнениях выпрямителей для регулирования напряжения применены дроссели насыщения *Др*. Тиристорные выпрямители на токи до 600 А построены по полууправляемой трехфазной мостовой схеме выпрямления, а на бóльшие токи — по трехфазной схеме с уравнительным реактором.

Оперативное включение и отключение источников питания производится контакторами *КЛ*. Напряжение генератора регулируется при помощи реостата $R_{рег}$. В тиристорных выпрямителях с блоком импульсно-фазового управления *БУ* и промежуточным усилителем *ПУ* применяются обратные связи по напряжению (*ОН*) или по

току (*ОТ*) [либо по плотности тока (*ОПТ*)]. Наличие переключателя обратных связей *ПОС* позволяет получать внешние характеристики $U=f(I)$ или $U=f_1(\delta_к)$ разного вида (рис. 19-2), т. е. обеспечивать режимы работы с автоматической стабилизацией заданного ползунком потенциометра $R_з$ значения напряжения U, либо

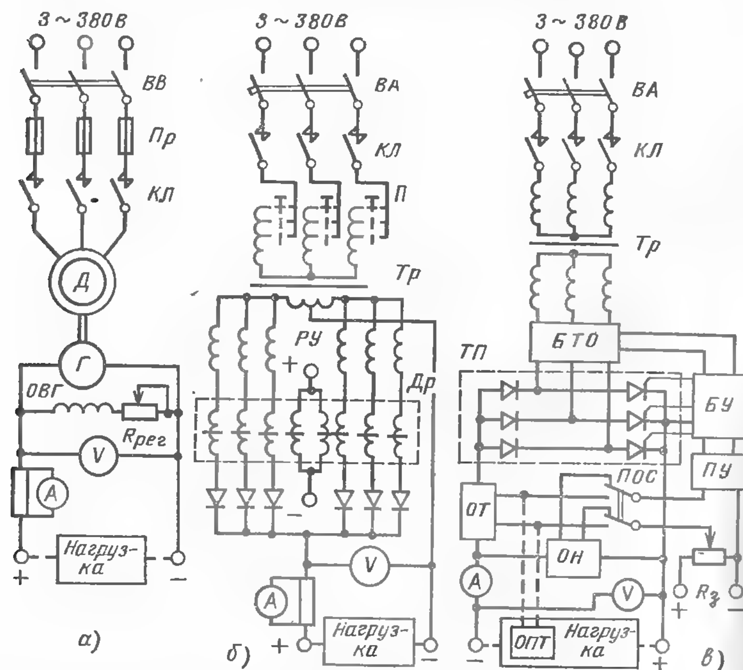


Рис. 19-1. Электрические схемы источников питания гальванических ванн.

плотности тока $\delta_к$ или тока I. Блок *БТО* предназначен для ограничения максимального тока выпрямителя при работе с обратной связью по *ОН*.

От источников тока к гальваническим ваннам ток передается по медным, алюминиевым, реже — латунным или стальным шинам. Когда прокладка шин невозможна, допускается применение кабелей. Сечения шин и проводов должны быть выбраны так, чтобы обеспечить минимальные потери электроэнергии.

Подвод тока к ваннам осуществляется через анодные и катодные штанги, укрепляемые на бортах ванн. Часто помещают катодную штангу между двумя анодными. В более широких ваннах укрепляют две катодные штанги с одной анодной посередине и двумя анодными по краям. Во избежание утечки тока и нарушения режима работы ванны должны быть хорошо изолированы от

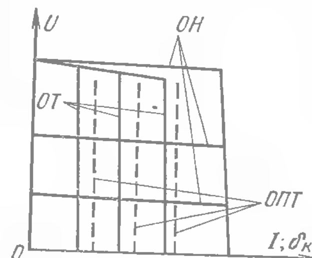


Рис. 19-2. Внешние характеристики тиристорного выпрямителя.

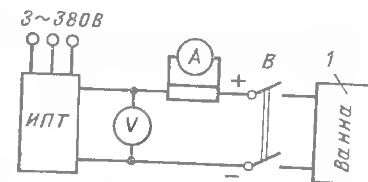


Рис. 19-3. Схема индивидуального питания гальванической ванны.

земли, для чего подставки ванн устанавливают на фарфоровые или резиновые прокладки.

Для ванн, потребляющих большие токи, особенно когда требуется регулировка тока, рекомендуются индивидуальные схемы питания (рис. 19-3) от источника постоянного тока *ИПТ* — электромашинного генератора или полупроводникового выпрямителя. При пуске электромашинного агрегата (см. рис. 19-1, *а*) сначала включают двигатель *Д* и по достижении требуемого напряжения на генераторе выключателем *В* (рис. 19-3) подключают ванну *1*. Отключение производят в обратном порядке. При включении выпрямителя следует вначале подключить цепь ванны и только затем включить переменный ток. При выключении выпрямителя сначала выключается переменный ток, после чего можно отключать ванну.

Во многих гальванических цехах питание нескольких ванн осуществляется от общего источника *ИПТ*. На рис. 19-4 приведена схема параллельного включения гальванических ванн. В этом случае для регулирования тока в цепь каждой ванны включается реостат $R_{рег,в}$. Если для процесса покрытия требуется напряжение

большее, чем дает один источник, применяют последовательное включение нескольких источников, а при необходимости получить ток, превышающий ток одного источника, применяют параллельное включение источников.

В некоторых случаях для ванн требуется разное напряжение: для одних ванн 12 В, для других 6 В. Тогда

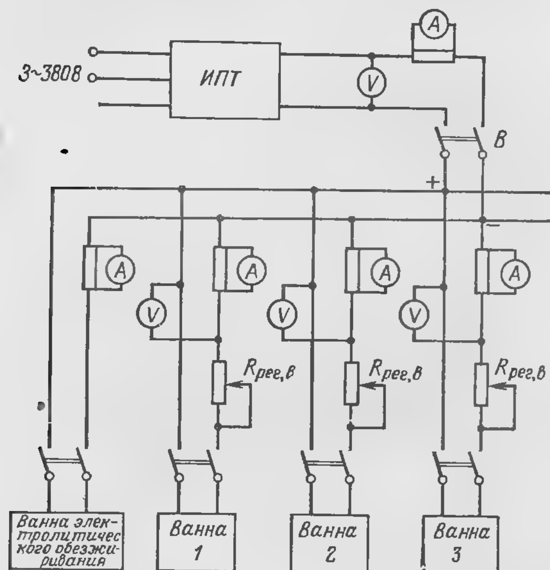


Рис. 19-4. Схема параллельного включения гальванических ванн по двухпроводной системе.

питание ванн производится по трехпроводной схеме (рис. 19-5), дающей значительную экономию цветного металла на токопроводы.

Для механизации процессов покрытия и увеличения производительности гальванических цехов применяют полуавтоматические и автоматические установки. Они представляют собой ванны, оснащенные механизмами для непрерывного перемещения подвесных приспособлений с изделиями от места загрузки до места выгрузки.

По конструкции автоматы для нанесения гальванических покрытий могут быть прямолинейными, овальными (кольцевыми), П-образными. Прямолинейные автоматы применяются в случаях, когда поток деталей по ходу технологического процесса направлен в одну сторону. Покрываемые изделия перемещаются вдоль ванны с помощью бесконечных пластинчатых конвейерных цепей. Продолжительность процесса устанавливается в зависимости от необходимой толщины покрытия и регулируется изменением скорости движения цепей

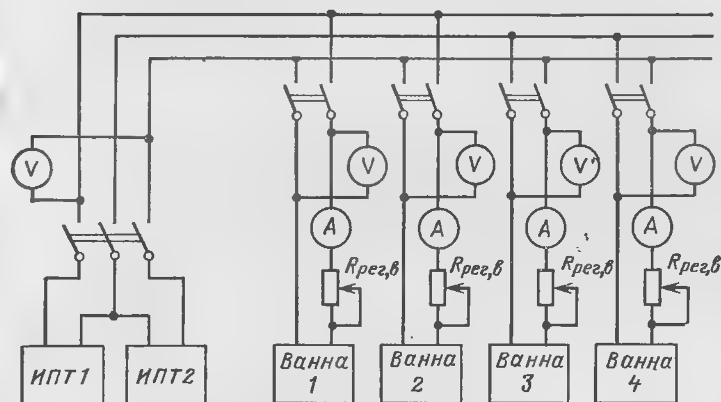


Рис. 19-5. Схема параллельного включения гальванических ванн по трехпроводной системе.

(0,1—1 м/мин). У прямолинейных автоматов обслуживание двустороннее: загрузка и выгрузка изделий осуществляются с противоположных сторон ванны. В овальных, кольцевых и П-образных автоматах перемещение изделий производится также при помощи пластинчатых цепей, приводимых в движение посредством двух звездочек. Обслуживание таких автоматов (загрузка и выгрузка) производится с одного рабочего места.

В полуавтоматических установках операции предварительной подготовки изделий и заключительные операции выполняются в стационарных ваннах. В автоматических конвейерных установках все операции нанесения покрытий механизированы, начиная от обезжиривания и кончая сушкой деталей.

19-2. УСТАНОВКИ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЙ ОКРАСКИ

На установках электростатической окраски окрашиваются различные изделия, в том числе корпуса электрических машин и аппаратов.

Сущность метода окраски распылением в электростатическом поле высокого напряжения до 140 кВ со-

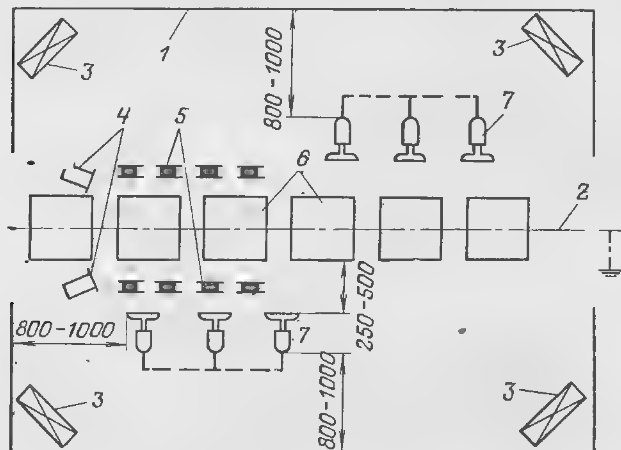


Рис. 19-6. План электроокрасочной камеры.

стоит в том, что между заземленным окрашиваемым изделием и так называемым коронирующим электродом, находящимся под отрицательным потенциалом, создается постоянное электрическое поле, в которое вводится распыленный лакокрасочный материал. Попадая в это поле, частицы (мелкие капли) материала приобретают отрицательный заряд и движутся по линиям поля к окрашиваемому изделию.

Окраску ведут в специальной камере, которая служит для ограждения электродной системы, находящейся под высоким напряжением, а также предохраняет от запыления окрашиваемые изделия. Камера выполняется металлической, проходного типа, частично остекляется и хорошо освещается для наблюдения за процессом. Вход в камеру имеет блокировки безопасности. Размеры камеры определяются условиями производства. На рис. 19-6 представлен план электроокрасочной

камеры *1* с электростатическими распылителями *7* и окрашиваемыми изделиями *6*, которые движутся по заземленному конвейеру *2*. В зависимости от рода и формы окрашиваемых изделий конвейер может быть подвесным, ленточным, напольным. При окраске некоторых изделий их необходимо вращать, тогда конвейер снабжается устройством для вращения подвесок вокруг оси

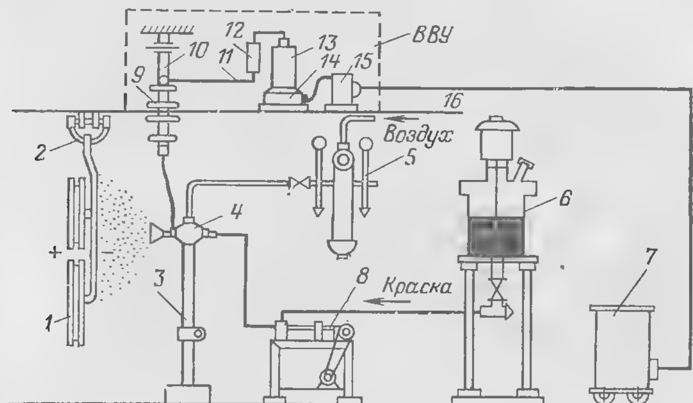


Рис. 19-7. Схема электроокрасочной камеры.

в зоне электрического поля. Скорость конвейера устанавливается в зависимости от условий производства и пропускной способности сушильных камер. Обычно она равна 0,75—1 м/мин, а в некоторых случаях увеличивается до 3 м/мин и регулируется при помощи механических вариаторов.

В электроокрасочной камере предусматривается вытяжная вентиляция *3* для удаления паров растворителя краски. Движение воздуха в камере не должно нарушать движения заряженных частиц краски в зоне электрического поля, поэтому отсос воздуха производится по направлению движения распыленной краски. Скорость движения воздуха в камере обычно составляет 0,2—0,5 м/с. В некоторых камерах устраивается еще и приточная вентиляция, которая через особые фильтры подает в камеру чистый воздух. В ряде конструкций камер предусматриваются гидрофильтры в системе вытяжной вентиляции. Камера оснащается также устройством автоматического огнетушения.

На рис. 19-7 показана принципиальная схема стационарной установки электростатической окраски. Предварительно обезжиренные, промытые и просушенные изделия *1* укрепляются на конвейере *2* (в данном случае подвесном) и проходят мимо распылителей *4*. Отрицательный потенциал подводится к коронирующим электродам распылителей от выпрямительного устройства высокого напряжения *ВВУ*, размещаемого обычно на крыше *16* электроокрасочной камеры. Краска поступает к распылителям из бачка *6* с мешалкой через дозирующее устройство *8*, снабженное шестеренчатым или диафрагменным насосом. Управление всеми агрегатами установки осуществляют дистанционно с пульта *7*, вынесенного за пределы камеры. После окраски изделия поступают в сушильную камеру. Сушку ведут в специальных установках с электрическими нагревательными трубками инфракрасного (темного) излучения или излучателями с газовым подогревом.

В установках электроокраски применяют электростатические и пневматические краскораспылители и различные по форме коронирующие электроды. Электростатические распылители выполняются вращающимися центробежными с пневмо- или электроприводом, а также без подвижных элементов.

Электростатические центробежные распылители изготовляются в виде грибков, чаш, дисков. Наибольшее распространение получили чашечные и грибковые распылители. Одна из конструкций чашечного распылителя (типа ЧР-1) состоит из воздушной турбинки и сменных головок-чаш, закрепляемых на ее валу. Распылители помещаются на изолированной стойке *3* и могут быть наклонены к изделию под любым углом. Подача краски осуществляется через полый вал турбинки на внутреннюю поверхность чаши. Распыление краски с вращающейся чаши происходит за счет центробежных сил и высокого отрицательного напряжения, подаваемого на корпус чаши, которая является одновременно коронирующим электродом. Вращение чаши производится с угловой скоростью 90—150 рад/с, причем скорость регулируется давлением воздуха, который поступает от компрессора через воздухоочиститель *5*. В других конструкциях чашечных распылителей, например типа ЭР-1М, вращение передается чаше от электродвигателя через механическую передачу.

В грибковых распылителях с электроприводом краска подается на поверхность грибка снаружи, поэтому грибок непосредственно надевается на вал двигателя. Конструкция грибкового распылителя проще, чем чашечного, и такие распылители получают все большее распространение.

Распылители в виде грибков, чаш и дисков устанавливаются в окрасочной камере различными способами. Они крепятся на неподвижных отдельных изолированных стойках, на общей наклонной штанге между двумя стойками, подвешиваются к потолку камеры, а также помещаются на качающихся штангах или вертикальных опорах с возвратно-поступательным движением. Механизмы перемещения распылителей приводятся в движение от электродвигателей. Применение таких механизмов позволяет сократить число распылителей в камере.

К электростатическим распылителям без подвижных элементов относятся лотки, гребенки из трубок, щелевые и другие устройства. Лакокрасочный материал в определенном количестве (от дозирующего устройства) подается на распылитель, поступает к его коронирующему краю и распыляется под действием электрического поля.

Если окраска изделий производится пневматическими распылителями (пистолетами), то в качестве коронирующих электродов используют сетки или игольчатые электроды. Распылители устанавливаются на заземленных штативах.

Электродные сетки *5* (см. рис. 19-6) применяют в тех случаях, когда распыление лакокрасочного материала производится пистолетами *4* под небольшим углом к оси конвейера. Электродные сетки изготовляют из жестких металлических трубчатых или прутковых рам без острых углов (диаметр прутков или труб 15—25 мм). На рамках через каждые 200—250 мм натягиваются коронирующие электроды из стальной или нихромовой проволоки диаметром 0,3—0,35 мм. Форма электродных сеток зависит в основном от конфигурации окрашиваемых изделий. Сетки могут быть вертикальными, горизонтальными, эллипсовидными. Длина сеток зависит от давления распыляющего воздуха; например, при давлении воздуха 90—150 кПа длина сеток составляет 1,5—2 м.

Если факел распыляемой краски необходимо направить к изделию под прямым углом, то целесообразно

применять игольчатые электроды — металлические трубки со вставленными в них остро заточенными иглами, обращенными остриями к изделию. Игольчатые электроды образуют постоянные ионизирующие точки с наибольшим скоплением электрических линий. Такие электроды менее подвержены загрязнению краской, не требуют частой чистки.

Для дистанционного управления пневматическими или электростатическими распылителями с пневмоприводом выпускается электропневматический клапан с датчиком положения (рабочее напряжение 220/380 В).

Для электростатической окраски можно применять большинство обычных лакокрасочных материалов на основе масел, глифталевых и других смол, битумов, асфальтов. Наиболее целесообразно применение электростатической окраски для наружных поверхностей изделий. Однако необходимо учитывать, что в результате неравномерности электрического поля осаждение лакокрасочного материала будет хорошо происходить на выпуклых поверхностях и плохо — в местах углублений. В связи с этим для окраски углублений требуется дополнительная ручная подкраска (например, между ребрами корпусов электрических машин).

При окрашивании крупногабаритных изделий и изделий, выпускаемых мелкими сериями, а также для подкраски применяют ручные электростатические распылители. Схема установки для ручного электроокрашивания показана на рис. 19-8. Здесь на изделие краска наносится при помощи электростатического распылителя-пистолета *2*, который посредством шлангов и кабелей присоединен к дозатору лакокрасочного материала *4* и электростатическому генератору *5*.

Основные преимущества электростатической окраски заключаются в уменьшении расхода лакокрасочного материала примерно на 50% по сравнению с обычной окраской распылением и высоком качестве окраски. Вместе с тем следует иметь в виду, что экономическая и техническая эффективность метода электростатической окраски проявляется в полной мере только при комплексной механизации производства, начиная с подготовки изделий перед окраской и кончая процессом сушки. Особенно эффективен этот метод в серийном и массовом производстве однородных изделий при использовании конвейеров.

Электрооборудование установок электростатической окраски. В качестве источников питания установок электростатической окраски применяют выпрямительные устройства высокого напряжения (например, на 140 кВ и 5 мА) и электростатические генераторы.

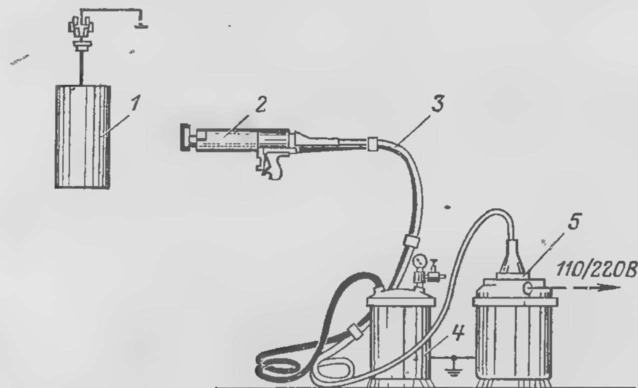


Рис. 19-8. Схема установки для ручной электроокраски.

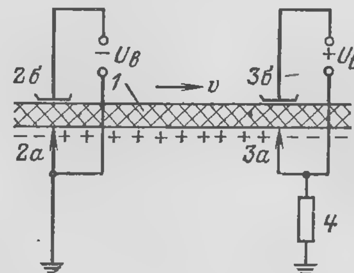


Рис. 19-9. Принципиальная схема электростатического генератора.

Принципиальная схема одной из разновидностей электростатического генератора приведена на рис. 19-9. Генератор преобразует механическую энергию в электрическую благодаря механическому перемещению зарядов против сил электрического поля. В данном случае генератор имеет транспортер из диэлектрика. Подвижная часть генератора *1* — изоляционный транспортер зарядов, движущихся с некоторой скоростью (ротор). Элементы неподвижного статора осуществляют зарядку и разрядку поверхности транспортера. Зарядное и разрядное устройства соответственно состоят из иони-

заторов *2а* и *3а* и индукторов *2б* и *3б*. В зарядном устройстве индуктор заземлен, в разрядном — соединен с нагрузкой *4*.

Если приложить между индуктором (пластиной из проводника) и ионизатором зарядного устройства напряжение возбуждения $U_в$, превышающее некоторое критическое значение, то на ионизаторе, представляющем собой тонкую проволоку, тонкую пластинку или ряд игл, возникнет электрический заряд. Образующиеся ионы осаждаются на поверхности транспортера и уносятся им. В разрядном устройстве (т. е. на полюсе высокого напряжения) между индуктором и ионизатором прикладывается напряжение $U_в$ противоположного знака. На ионизаторе также возникает заряд противоположного знака, благодаря чему с транспортера снимается заряд, который и создает ток через нагрузку *4*.

Чаще всего генераторы имеют цилиндрический ротор; в частности, у установки ручной электроокраски на рис. 19-8 изображен такой генератор.

Основные элементы выпрямительного устройства высокого напряжения *ВВУ* показаны на рис. 19-7. Повышающий трансформатор *15* установлен в бакелитовом цилиндре, заполненном трансформаторным маслом. Кенотрон *13* в кожухе располагается на трансформаторе накала *14*, также установленном в бакелитовом цилиндре с маслом. Резистор *12* служит для ограничения тока на стороне высокого напряжения трансформатора при искровом разряде или к. з. В качестве ограничительного резистора обычно используется комплект радиорезисторов, последовательно соединенных между собой и заключенных в бакелитовую трубку. Сопротивление резистора — 0,6—1 МОм. Шинопровод высокого напряжения *11* выполняют в виде стальной никелированной или хромированной трубки. Через проходной изолятор *9* подается напряжение в электроокрасочную камеру. Автоматический разрядник *10* в герметическом исполнении предназначен для автоматического снятия остаточного заряда с электродных сеток, электростатических распылителей и шинопровода после отключения высокого напряжения. Контактное устройство разрядника размещено в цилиндре полого фарфорового изолятора, заполненного маслом. Неподвижный контакт разрядника при помощи гибкого проводника присоединен к заземленным частям электроокрасочной камеры. Подвижный

контакт через систему рычагов из изолирующего материала связан с сердечником электромагнита и электрически соединен с шинопроводом *11*. Если катушка электромагнита отключена, то подвижный контакт под действием пружины замкнут с неподвижным и шинопровод оказывается заземленным. При подаче питания в катушку электромагнита его сердечник втягивается, под-

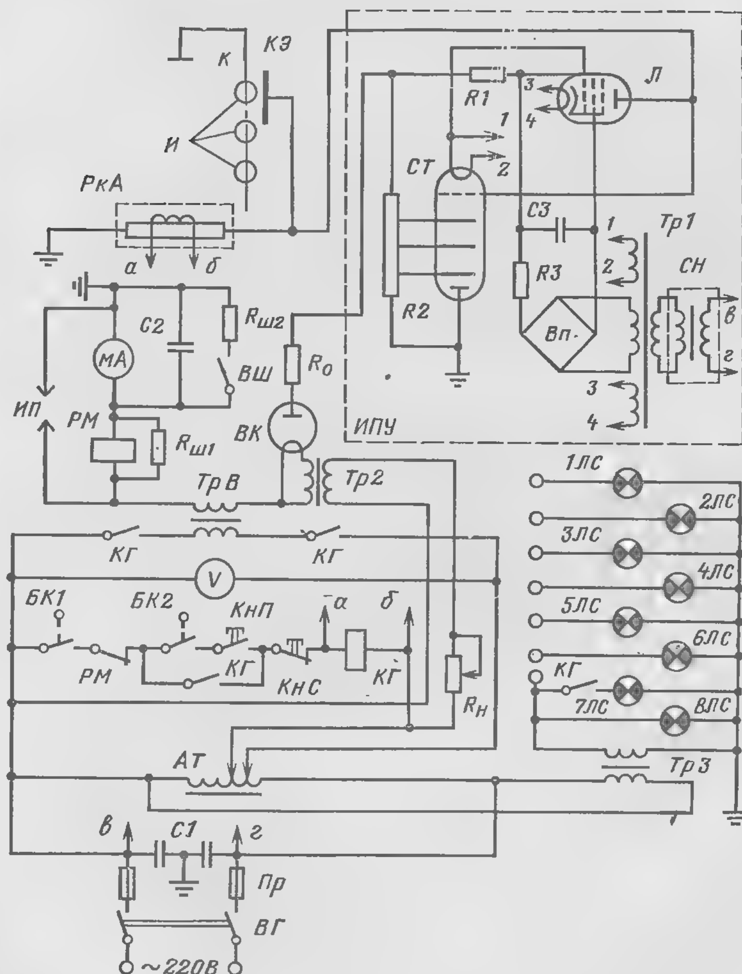


Рис. 19-10. Электрическая схема выпрямительного устройства В-140-5.

вижный контакт разрядника отходит от неподвижного, поэтому с шинопровода заземление снимается.

Электрическая схема устройства типа В-140-5 показана на рис. 19-10. Коронирующий электрод *КЭ* питается однополупериодным напряжением от выпрямителя, состоящего из кенотрона высокого напряжения *ВК* типа КР-220 и повышающего трансформатора *ТрВ*. Первичная обмотка этого трансформатора подключена к сети 220 В через автотрансформатор *АТ*, позволяющий плавно регулировать выпрямленное напряжение в пределах от 65 до 140 кВ. Трансформатор *Тр2* накала кенотрона включен через настроечный реостат $R_н$. Для контроля напряжения на коронирующем электроде служит вольтметр *V*, проградуированный по выпрямленному напряжению. Ток нагрузки выпрямителя высокого напряжения измеряется микроамперметром *μA* на 500 мкА, пределы измерения которого могут быть увеличены в 10 раз при помощи шунта $R_{ш2}$ с выключателем *ВШ*. Для предохранения микроамперметра от высокочастотных токов служит конденсатор *С2*.

Включение высокого напряжения производится при помощи главного контактора *КГ* после нажатия пусковой кнопки *КнП*. Одновременно автоматический разрядник *РкА* снимает заземление с отрицательного полюса цепи высокого напряжения. При перегрузках по току срабатывает максимальное реле *РМ* и отключает контактор *КГ*. Так же как и при отключении установки кнопкой *КнС*, в этом случае вместе с контактором *КГ* теряет питание электромагнит разрядника *РкА*, который заземляет коронирующий электрод *КЭ*.

В цепь высокого напряжения последовательно с ограничительным резистором $R_о$ включено также искропредупреждающее устройство *ИПУ*. Назначение *ИПУ*— предотвратить искровой пробой между коронирующим электродом *КЭ* и окрашиваемым изделием *И*, который может произойти в случае раскачивания изделия на конвейере *К*, обрыве электродных проволок, падения изделия на коронирующий электрод и т. п. Искровой разряд в некоторых случаях вызывает загорание краски на изделии, поэтому искропредупреждающее устройство должно быть сверхбыстродействующим. Указанное *ИПУ* представляет собой тиратронное реле, в аварийных случаях снимающее высокое напряжение с коронирующего электрода в течение одной миллионной доли секунды.

Узел *ИПУ* оформлен конструктивно в виде самостоятельного блока, заключенного в бакелитовый цилиндр, заполненный маслом.

Секционированный тиратрон высокого напряжения *СТ* блока *ИПУ* включен параллельно кенотрону *ВК*. Напряжение на коронирующий электрод поступает через пентод *Л*, в цепь катода которого включен резистор смещения *R1*. На экранную сетку пентода подается положительный потенциал от выпрямителя *Вп* через сглаживающий фильтр *R3*, *С3*. Питание выпрямителя *Вп* и цепей накала тиратрона и пентода производится от трансформатора *Тр1*, который в свою очередь подключен к сети 220 В через стабилизатор напряжения *СН*.

Если произошло замыкание коронирующего электрода *КЭ* с изделием *И*, увеличиваются анодный ток пентода *Л* и напряжение смещения на сопротивлении *R1*. Внутреннее сопротивление пентода резко возрастает, поэтому на управляющую сетку тиратрона *СТ* подается отпирающий потенциал, тиратрон зажигается и шунтирует цепь высокого напряжения, снимая напряжение с коронирующего электрода. После этого реле *РМ* отключает контактор *КГ*.

Трансформатор *Тр3* служит для питания сигнальных ламп пониженным напряжением. Лампа *8ЛС* контролирует наличие напряжения на схеме; лампа *7ЛС* («светофор»), установленная при входе в окрасочную камеру, загорается при включении высокого напряжения. Остальные сигнальные лампы предназначены для контроля за работой вспомогательных устройств установки.

Кроме защиты цепи высокого напряжения от перегрузки и искрового разряда, в схеме предусмотрена защита от к. з. в трансформаторе *ТрВ* и на стороне низкого напряжения плавкими предохранителями *Пр*. Конденсаторы *С1* защищают питающую сеть от радиопомех. Микроамперметр и обмотка реле *РМ* защищены от перенапряжений искровым промежутком *ИП*.

Электроаппаратура управления и защиты выпрямительного устройства высокого напряжения размещена в пульте управления, на крышке которого находятся приборы, выключатели, сигнальные лампы и кнопки *КнП*, *КнС*. Иногда применяют также дополнительные подвесные пульты управления.

Приводы механизмов электроокрасочных установок выполняются от асинхронных двигателей во взрывонепроницаемом исполнении или закрытых во взрывонепроницаемых кожухах. Для привода центробежных вентиляторов применяют двигатели типа МА-143 мощностью от 3,8 до 8 кВт, а также типа ТАГ-32 мощностью 2,3—3,5 кВт. Турбинки грибковых и чашечных распылителей снабжаются двигателями серии АОЛ мощностью от 50 до 180 Вт.

Для привода насоса дозирующего устройства применяется обычно двигатель ТАГ-12/4 мощностью 0,42 кВт, для привода краскомешалки — мощностью до 0,9 кВт. Аналогичные двигатели используются и в приводах перемещения (качания) распылителей. Управление двигателями механизмов осуществляется при помощи магнитных пускателей и кнопочных станций.

Основные блокирующие устройства в схемах управления установки электростатической окраски обеспечивают невозможность: 1) включения высокого напряжения посторонними лицами или лицами, у которых нет ключа от запирающейся пусковой кнопки; 2) пуска конвейера без предупредительного звукового сигнала и последующей выдержки времени в течение 5—15 с; 3) включения высокого напряжения в тех случаях, когда не подано напряжение на нить накала кенотрона, разомкнуты защитные вспомогательные контакты (*БК1* на рис. 19-10) на ограждении окрасочной камеры и на кабине с оборудованием высокого напряжения, регулятор высокого напряжения не находится в исходном положении (разомкнут контакт *БК2*); 4) включения распыления при выключенной вентиляции, неподвижном конвейере, выключенном высоком напряжении; 5) включения высокого напряжения при выключенной вентиляции.

Все элементы установки электростатической окраски, подлежащие заземлению (камера, стойки к пневматическим распылителям, конвейер, вентиляционная система и др.), заземляются согласно правилам заземления установок высокого напряжения.

Глава двадцатая

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ВО ВЗРЫВО- И ПОЖАРООПАСНЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ

20-1. КЛАССИФИКАЦИЯ ПОМЕЩЕНИЙ ПО ИХ ВЗРЫВО- И ПОЖАРООПАСНОСТИ

Помещения и установки промышленных предприятий, в которых по условиям технологического процесса используются или хранятся горючие вещества, в соответствии с требованиями к их электрооборудованию классифицируются Правилами устройства электроустановок ПУЭ (гл. VII-3 и VII-4) на взрывоопасные и пожароопасные.

К взрывоопасным помещениям и установкам относятся те, в которых технологический процесс может сопровождаться образованием взрывоопасных смесей: горючих газов или паров с воздухом, кислородом или другими газами-окислителями; горючих пылей или волокон с воздухом при переходе их во взвешенное состояние.

Пожароопасными считаются те помещения и установки, в которых применяются или хранятся горючие вещества, но опасность взрыва отсутствует.

Если среда помещений, а также наружных установок, в которых применяется электрооборудование, взрыво- или пожароопасна, то причинами взрыва либо пожара могут стать: электрическая искра (дуга), возникшая в электромашине, аппарате или приборе, в электропроводке или кабельной линии, в электроосветительной арматуре и т. п.

Согласно ПУЭ все взрывоопасные помещения и установки в отношении их опасности при применении электрооборудования подразделяются на следующие классы:

Помещения класса В-I. К ним относятся помещения, в которых могут образоваться взрывоопасные смеси горючих газов или паров с воздухом или другими окислителями при нормальных недлительных режимах работы, например при загрузке или разгрузке технологических аппаратов, хранении или переливании легковоспламеняющихся и горючих жидкостей, находящихся в открытых сосудах и т. д.

Помещения класса В-Іа. К ним относятся помещения, в которых взрывоопасные смеси горючих паров или газов с воздухом или другими окислителями могут образоваться только в случае аварий или неисправностей.

Помещения класса В-Іб. К ним относятся те же помещения, что и класса В-Іа, но отличающиеся одной из следующих особенностей: 1) горючие газы в этих помещениях обладают высоким нижним пределом взрываемости (15% и более)* и резким запахом при предельно допустимых по санитарным нормам концентрациях; 2) образование в аварийных случаях в помещениях общей взрывоопасной концентрации по условиям технологического процесса исключается, а возможна лишь местная взрывоопасная концентрация; 3) горючие газы и легковоспламеняющиеся горючие жидкости имеются в помещениях в небольших количествах, не создающих общей взрывоопасной концентрации, и работа с ними производится без применения открытого пламени.

Установки класса В-Іг. К ним относятся наружные установки, содержащие взрывоопасные газы, пары, горючие и легковоспламеняющиеся жидкости, где взрывоопасные смеси возможны только в результате аварии или неисправности.

Помещения класса В-II. К ним относятся помещения, в которых могут образоваться взрывоопасные смеси горючих пылей или волокон с воздухом и другими окислителями при нормальных недлительных режимах работы.

Помещения класса В-IIа. К ним относятся помещения, в которых опасные состояния, указанные в предыдущем классе, возможны только в результате аварий или неисправностей.

Производственные помещения, которые хотя и не содержат технологического оборудования и материалов, представляющих опасность пожара или взрыва, но граничат с помещениями взрывоопасными, также относятся к взрывоопасным, но соответственно на один класс ниже. Так, камеры вытяжных вентиляторов, обслуживающие взрывоопасные помещения, но изолированные от них, относятся к взрывоопасным помещениям соответственно на один класс ниже обслуживаемых помещений, за исключением камер аварийной вентиляции, для которых принимается класс обслуживаемого помещения.

Таким образом, наиболее опасными являются помещения классов В-І и В-II, наименее опасными — класса В-Іб. Значительная часть взрывоопасных помещений может быть отнесена к классу В-Іа, хотя не все помещения одного и того же класса или отдельные зоны их могут считаться одинаковыми по степени взрывоопасности.

Пожароопасные помещения и наружные установки с точки зрения их опасности при применении электрооборудования также подразделяются согласно ПУЭ на несколько классов.

Помещения класса П-І. К ним относятся помещения, в которых применяются или хранятся горючие жидкости с температурой вспышки выше 45° С (например, склады минеральных масел).

Помещения класса П-II. К ним относятся помещения, в которых образуются горючие пыли или волокна, переходящие во взвешенное состояние. Возникающая при этом опасность ограничена пожаром (но не взрывом) либо в силу физических свойств пыли или волокон, либо в силу того, что содержание их в воздухе по условиям эксплуатации не достигает взрывоопасных концентраций.

Помещения класса П-IIа. К ним относятся производственные и складские помещения, содержащие твердые или волокнистые горючие вещества (дерево, ткани и т. п.), причем признаки, характерные для класса П-II, отсутствуют.

Установки класса П-III. К ним относятся наружные установки, в которых применяются или хранятся горючие жидкости с температурой вспышки паров выше 45° С (например, склады минеральных масел), а также твердые горючие вещества (например, склады угля, торфа, дерева).

При проектировании промышленных предприятий технологи совместно с электриками, проектирующими электрооборудование к ним, относят помещения к той или иной категории.

* Нижним пределом взрывоопасности называется наименьшая концентрация газов, паров или пыли с воздухом, выраженная в процентах к объему воздуха, при которой посторонний источник зажигания вызывает взрыв этой смеси.

20-2. ВИДЫ ИСПОЛНЕНИЙ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ПО СТЕПЕНИ ЗАЩИТЫ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Электрооборудование выпускается в различных конструктивных исполнениях, предназначенных для работы при определенных внешних условиях. По условиям защиты от воздействия окружающей среды электрические машины, аппараты, приборы в соответствии с ГОСТ 18311-72* (опубликован в 1977 г.) могут иметь следующие основные исполнения: 1) открытое — не предусматривается специальных защитных устройств от случайного прикосновения к движущимся и токоведущим частям оборудования и от попадания внутрь его посторонних предметов; 2) защищенное — имеются специальные приспособления для защиты от случайного прикосновения к движущимся и токоведущим частям оборудования, а также от попадания внутрь посторонних предметов, капель влаги, падающих отвесно; 3) брызгозащищенное — имеются приспособления для ограничения попадания внутрь оборудования водяных брызг любого направления; 4) закрытое — выполняется так, что возможность сообщения между внутренним пространством оборудования и окружающей средой может иметь место только через неплотности соединений между частями электрооборудования; 5) пыленепроницаемое — выполняется так, что ограничивается попадание внутрь пыли в количествах, исключающих нарушение работы оборудования; 6) герметичное — выполняется так, что исключается возможность сообщения между внутренним пространством оборудования и окружающей средой; 7) взрывозащищенное — предусматриваются конструктивные меры в виде защитных оболочек с целью устранения или затруднения возможности воспламенения окружающей взрывоопасной среды.

Взрывозащищенное электрооборудование предназначено для внутренней и наружной установки в местах, где могут возникнуть смеси с воздухом горючих газов, паров или пыли, способные взорваться при наличии источника поджигания.

Взрывозащищенное электрооборудование в зависимости от области применения подразделяется на следующие группы:

группа I — рудничное взрывозащищенное электрооборудование, предназначенное для подземных работ в шахтах и рудниках, опасных по газу или пыли;

группа II — взрывозащищенное электрооборудование для внутренней и наружной установки, кроме рудничного взрывозащищенного.

Электрооборудование группы II, имеющее взрывонепроницаемую оболочку или искробезопасную электрическую цепь, подразделяется на подгруппы IIA, IIB и IIC.

Взрывозащищенное электрооборудование для внутренней и наружной установки по ГОСТ 12.2.020-76* может иметь следующие виды взрывозащиты:

1. Взрывонепроницаемая оболочка (знак вида взрывозащиты *d*) — защитная оболочка выдерживает давление взрыва внутри нее и предотвращает распространение взрыва из оболочки в окружающую среду.

2. Искробезопасная электрическая цепь (знак вида взрывозащиты *i*) — искроопасные электрические цепи выполняются так, что электрическая искра (разряд) не может воспламенить взрывоопасную среду.

3. Защита вида «*е*» (знак вида взрывозащиты *е*) — в электрооборудовании или его части, не имеющих нормально искрящихся частей, принимаются дополнительные меры по предотвращению появления опасных нагревов, электрических искр и дуг.

4. Заполнение или продувка оболочки под избыточным давлением (знак вида взрывозащиты *p*) — токоведущие или находящиеся под напряжением части электрооборудования, встроенные в оболочку, продуваются чистым воздухом или инертным газом под избыточным давлением.

5. Масляное заполнение оболочки (знак вида взрывозащиты *o*) — электрические части электрооборудования, встроенные в оболочку, находятся под защитным слоем минерального масла или жидкого диэлектрика.

6. Кварцевое заполнение оболочки (знак вида взрывозащиты *q*) — встроенные в оболочку токоведущие части электрооборудования находятся под защитным слоем кварцевого песка.

Взрывозащищенное электрооборудование II группы в зависимости от вида взрывозащиты имеет по ГОСТ 12.2.020-76 маркировку, которая содержит обозначения в следующей последовательности:

* Вводится с 1 января 1981 г.

а) знак уровня взрывозащиты:
2 — для электрооборудования повышенной надежности против взрыва;
1 — для взрывобезопасного электрооборудования;
0 — для особовзрывобезопасного электрооборудования;
б) знак *Ex*, указывающий, что электрооборудование соответствует настоящему стандарту;
в) знак вида взрывозащиты *d*, *i*, *e*, *o*, *p*, *q* (см. п. 1—6);
г) знак группы или подгруппы электрооборудования: II — для электрооборудования, не подразделяющегося на подгруппы, и IIA, IIB и IIC — для электрооборудования, подразделяющегося на подгруппы;
д) знак температурного класса электрооборудования (в зависимости от значения предельной температуры различают следующие классы: Т1 — для температуры 450° С, Т2 — 300° С, Т3 — 200° С, Т4 — 135° С и Т6 — 80° С).

Пример маркировки взрывозащиты взрывозащищенного электрооборудования группы II:

2*Exe*IIТ6 — электрооборудование повышенной надежности против взрыва, защита вида «*e*», подгруппа II, температурный класс Т6;

1*Exd*IIAТ3 — взрывобезопасное электрооборудование с взрывонепроницаемой оболочкой, подгруппа IIA, температурный класс Т6.

Условные знаки вида взрывозащиты помещаются на основных частях электрооборудования. Взрывозащищенное электрооборудование изготовляется в соответствии с Правилами изготовления взрывозащищенного электрооборудования (ПИВЭ).

20-3. ВЫБОР ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ВЗРЫВО- И ПОЖАРООПАСНЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

Для обеспечения надежной и безопасной работы электрооборудования, применяемого во взрыво- и пожароопасных помещениях и установках, оно должно строго соответствовать условиям окружающей среды. Правила выбора исполнений электрооборудования в зависимости от класса взрыво- или пожароопасных помещений или наружных установок, категории и группы

взрывоопасных смесей и т. д. подробно изложены в ПУЭ. Следует подчеркнуть, что во взрывоопасных помещениях стремятся разместить только возможный минимум наиболее дорогого взрывозащищенного электрооборудования, а остальное электрооборудование — нормального исполнения — выносится в помещения, безопасные, изолированные от взрывоопасных.

Электродвигатели взрывоопасных помещений. В этих помещениях применяются, как правило, взрывозащищенные электродвигатели. В помещениях классов В-I и В-II стационарно установленные двигатели должны иметь исполнение *d* или *p*, в помещениях класса В-Iа — любое взрывозащищенное исполнение для соответствующих категорий и групп взрывоопасных смесей, причем у двигателей исполнения «*e*» искрящие части (например, контактные кольца) должны быть заключены в кожухи исполнений *d*, «*e*» или *o*. Передвижные электрические машины в помещениях классов В-I и В-II должны иметь исполнение *p*.

В помещениях класса В-IIа следует применять закрытое обдуваемое или продуваемое исполнение. Искрящие части должны быть заключены в кожухи одного из взрывозащищенных исполнений.

Кроме помещений классов В-Iб и В-IIа во взрывоопасных помещениях других классов допускается применять для привода механизмов электродвигатели в нормальном исполнении, но при следующих условиях: 1) электродвигатели устанавливаются вне взрывоопасных помещений, которые отделяются от взрывоопасного глухой несгораемой стеной, имеют эвакуационный выход и должны быть обеспечены избыточным давлением; 2) привод механизмов может осуществляться при помощи вала, пропущенного через стену, с устройством в ней сальникового уплотнения.

Взрывонепроницаемое исполнение электрических машин и аппаратов является одним из наиболее надежных исполнений и распространено во всех взрывоопасных производствах. Такое электрооборудование изготовляется для взрывоопасных сред: 1А (1 — категория, А — группа) с маркировкой В1А; 2Б — с маркировкой В2Б; 3Г — с маркировкой В3Г. Для взрывоопасных сред, относящихся к 4-й категории, взрывонепроницаемые электродвигатели и аппаратура к ним в СССР не изготовляются.

Во взрывоопасных производствах еще широко распространены ранее выпускавшиеся взрывонепроницаемые электродвигатели серий МА-140, МА-35, КО, КОФ и другие (рис. 20-1, *а*). В настоящее время выпускается новая серия асинхронных электродвигателей КОМ на 380/660 В в исполнении В3Г взамен серии КО. Разработана новая серия МА-36 взрывонепроницаемых элек-

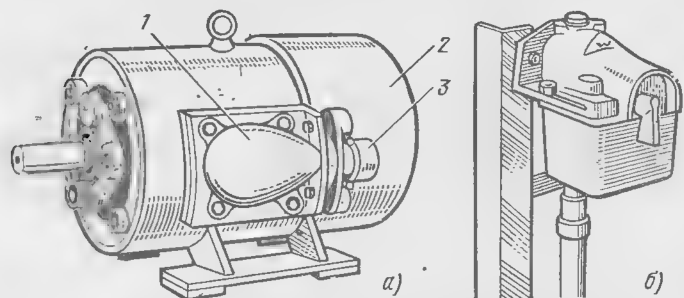


Рис. 20-1. Электрооборудование взрывонепроницаемого исполнения.

а — двигатель типа КО: *1* — вводное устройство; *2* — кожух вентилятора; *3* — патрубок для ввода бронированного кабеля; *б* — ключ управления типа КУ-700.

тродвигателей (с короткозамкнутым или фазным ротором) пяти габаритов мощностью от 40 до 400 кВт при напряжении 380/660 В, которые будут выпускаться в исполнениях В1Г, В2Г и В3Г.

Для удобства эксплуатации электродвигателей создан проект единой серии асинхронных электродвигателей ВАО (взрывонепроницаемые асинхронные обдуваемые) в исполнениях В1Г, В2Г и В3Г мощностью от 0,27 до 400 кВт при напряжении 380/660 В. В серии имеются модификации: с повышенным скольжением, многоскоростные и др. Освоены и выпускаются взрывонепроницаемые асинхронные электродвигатели серии АСВ в исполнении В3Г с повышенным скольжением мощностью от 0,18 до 7 кВт, предназначенные для работы в повторно-кратковременном режиме.

Большое применение имеют асинхронные и синхронные двигатели, продуваемые под избыточным давлением и повышенной надежности против взрыва, маркируемые знаками *p* и *i* (например, серий АДТ, ДАМСО, СДС и др).

Электроаппараты и приборы взрывоопасных помещений. Непосредственно в самих взрывоопасных помещениях обычно устанавливается ограниченное количество электрических аппаратов и приборов взрывозащищенных исполнений. Основная часть аппаратуры размещается в отдельных безопасных помещениях.

В помещениях классов В-I и В-II стационарно установленные аппараты и приборы должны иметь исполнение *d*, *p*, *i* (только для класса В-I), «*е*» или *о*; в помещениях класса В-Iа — любое взрывозащищенное исполнение для соответствующих категорий и групп взрывоопасных смесей (для аппаратов и приборов с искрящими частями и подверженных нагреву выше 80° С) или пыленепроницаемое (при отсутствии искрящих частей и нагреве не выше 80° С). В помещениях класса В-Iб допускается закрытое исполнение, за исключением пусковых аппаратов к электродвигателям аварийной вентиляции, для которых принимается любое взрывозащищенное исполнение, соответствующее категории и группе взрывоопасных смесей.

Штепсельные соединения в помещениях класса В-Iа допускаются также в пыленепроницаемом исполнении; сборки зажимов рекомендуется выносить в невзрывоопасные помещения; предохранители и выключатели осветительных цепей следует устанавливать вне взрывоопасных помещений. Непосредственно во взрывоопасном помещении вблизи электродвигателей или на щитах управления технологическими агрегатами устанавливаются взрывозащищенные кнопочные посты и колонки управления.

Большое распространение имеют взрывозащищенные маслонаполненные кнопочные посты управления серии КУ-700 (рис. 20-1, *б*) с двумя и тремя кнопочными элементами и подобные им по конструкции конечные выключатели типа ВК-700. Они предназначены для переключения цепей переменного тока до 500 В, 5 А и пригодны для стационарных установок во взрывоопасных помещениях всех классов и сред. Применяются также кнопочные посты управления и сигнализации новой серии ПВ и путевые выключатели ВПВ.

Для управления электродвигателями во взрывоопасных помещениях при температуре окружающей среды от —40 до +35° С широко используются колонки управления типа К-37. Такая колонка имеет взрывоне-

проницаемую оболочку с проходными зажимами и вводным устройством и кожух-подставку, на которой укрепляется оболочка. Ввод кабеля осуществляется в газовой трубе, вводное устройство имеет резиновое уплотняющее кольцо (рис. 20-2).

Во взрывоопасных помещениях применяются **взрывозащищенные магнитные пускатели серии ПМ-701**, предназначенные для управления асинхронными двигателями до 500 В с короткозамкнутым ротором. Эти пускатели пригодны только для стационарных установок с продолжительным режимом работы и температурой окружающей среды от —30 до +35° С. Их можно использовать во взрывоопасных помещениях класса В-Iа и во взрывоопасных наружных установках класса В-Iг. Все контакты пускателя, на которых в процессе работы возникает электрическая дуга или искра, погружены в трансформаторное масло. Поскольку пускатели ПМ-701 рассчитаны на небольшой ток к. з., то при отключении токов, превышающих номинальные значения, пускатели могут быть причиной взрыва, и их дополнительно надо защищать или плавкими предохранителями, или автоматическими выключателями. Взамен магнитных пускателей типа ПМ-701 в настоящее время выпускаются более износостойкие пускатели типа ПМ-702 на 25 и 100 А. Разработан также ряд других серий взрывозащищенных магнитных пускателей (ПМВ, ПВ и др.).

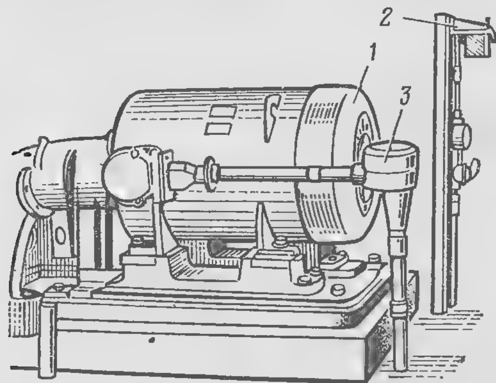


Рис. 20-2. Общий вид размещения электрооборудования во взрывоопасном помещении.

1 — взрывозащищенный двигатель; *2* — кнопочный пост; *3*—переходная муфта.

Кроме контактной аппаратуры для взрывоопасных помещений начинает применяться и бесконтактная, преимуществом которой является отсутствие искрящих контактов. Примером может служить бесконтактная кнопочная станция БКС-2 исполнения повышенной надежности против взрыва, которая состоит из двух дросселей с замыкающими (размыкающими) магнитопроводами и промежуточного реле.

В качестве распределительных устройств для внутренних и наружных взрывоопасных установок, если они не могут быть вынесены в безопасное помещение, применяются взрывозащищенные распределительные пункты типов РПВ-2 и РПВ-4. Размещенные в таких пунктах электроаппараты с нормально искрящими частями (автоматические выключатели, контакторы, кнопки управления) имеют взрывонепроницаемое исполнение ВЗГ, а элементы без нормально искрящих частей (например, сборные шины) — исполнение повышенной надежности против взрыва — «*е*». Распределительные пункты рассчитаны на номинальное напряжение до 500 В и могут применяться как в трехпроводных сетях с изолированной нейтралью, так и в четырехпроводных сетях с изолированной или заземленной нейтралью.

Электроосветительное оборудование взрывоопасных помещений. Во взрывоопасных производствах обычно производится лишь наблюдение за технологическим процессом по контрольно-измерительным приборам, сигнальным устройствам и т. п. Поэтому, как правило, применяется система общего освещения помещений и наружных установок, иногда устраивается локализованное освещение технологических щитов и панелей управления, а для периодического усиленного освещения отдельных мест и узлов, для ремонта оборудования применяется еще **переносное освещение** на пониженном напряжении — 36 и 12 В. В отдельных случаях используются аккумуляторные фонари во взрывозащищенном исполнении (переносное освещение).

Для взрывоопасных производств применяются светильники общего применения и взрывозащищенные. Взрывозащищенные светильники изготовляются в двух исполнениях: взрывонепроницаемом и повышенной надежности против взрыва, например светильники типа

В4А-60 с лампой накаливания до 60 Вт (рис. 20-3), предназначенные для освещения низких взрывоопасных помещений; светильники типа В4А-50 для местного освещения (лампы 12 В, до 50 Вт); светильники типа ВЗГ-200 для общего освещения и др.

Электроосветительные щитки во взрывонепроницаемом исполнении (ВЗГ) типа ЩОВ-1 и ЩОВ-2 с уста-

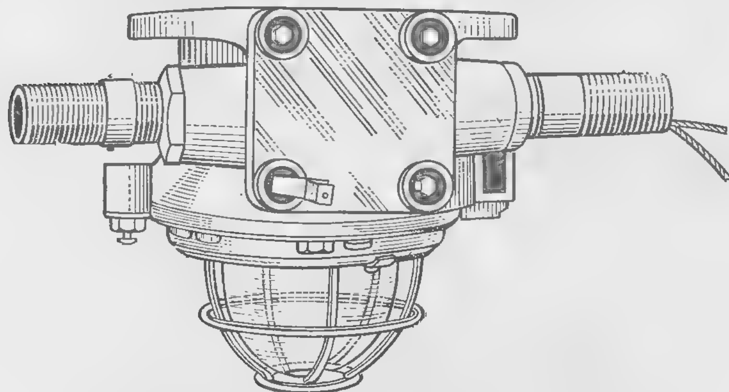


Рис. 20-3. Взрывонепроницаемый светильник типа В4А-60.

новочными автоматическими выключателями предназначены для коммутирования и защиты осветительных цепей 380/220 В во взрывоопасных помещениях со средами до 3Г включительно.

Электрооборудование пожароопасных помещений и установок. В этих помещениях рекомендуется удалять представляющее опасность электрооборудование (коммутационные аппараты, электродвигатели с искрящими контактами и т. п.) от мест скопления горючих материалов. При выборе электрооборудования необходимо также учитывать условия окружающей среды (химическую активность, атмосферные осадки и т. п.).

Электродвигатели в помещениях класса П-I должны иметь брызгозащищенное, закрытое, закрытое обдуваемое или продуваемое исполнение; в помещениях класса П-IIа — закрытое, закрытое обдуваемое или продуваемое исполнение, в помещениях класса П-III — закрытое или закрытое обдуваемое исполнение. Передвижные электродвигатели или двигатели, находящиеся на передвижных установках, для всех классов помещений

должны иметь закрытое или закрытое обдуваемое исполнение.

Электрические аппараты и приборы, искрящие по условиям работы, выбирают по исполнению следующим образом: для помещений класса П-I — маслонаполненные или пыленепроницаемые, класса П-II — пыленепроницаемые, класса П-IIа — закрытые или маслонаполненные, класса П-III — закрытые. Неискрящие аппараты и приборы для всех классов пожароопасных установок должны иметь закрытое исполнение. Применение аппаратов и приборов в открытом или защищенном исполнении допускается при условии их установки в шкафах закрытого исполнения (для помещений класса П-IIа — в шкафах защищенного исполнения).

Передвижные (переносные) аппараты и приборы для всех пожароопасных помещений и наружных установок должны быть в пыленепроницаемом (при наличии искрящих частей) или в закрытом (при отсутствии нормально искрящих частей) исполнении.

20-4. ЭЛЕКТРОПРОВОДКИ ВО ВЗРЫВО- И ПОЖАРООПАСНЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ

Общепринятые на промышленных предприятиях цеховые сети по четырехпроводной системе 380/220 В применяются и для питания силовых и осветительных установок взрыво- и пожароопасных производств; здесь нейтраль, как правило, заземляется наглухо. Нулевые провода во взрывоопасных помещениях должны иметь изоляцию, равноценную с фазными проводами, и прокладываться вместе с ними в общей оболочке или трубе.

Во взрывоопасных помещениях всех классов допускается применение открыто положенных бронированных кабелей с резиновой или бумажной изоляцией, не имеющих наружных покровов из горючих веществ. Для силовых и осветительных цепей управления, защиты, автоматики и сигнализации провода и небронированные кабели в помещениях классов В-I и В-II, а также В-Iа (для силовых сетей и вторичных цепей) прокладываются в стальных трубах. Во взрывоопасных помещениях всех классов допускается также прокладка бронированных кабелей в каналах, а также туннелях и бло-

ках, изолированных от производственных помещений несгораемыми перегородками.

Допускается открытая прокладка небронированных кабелей в силовых и осветительных сетях до 380 В и во

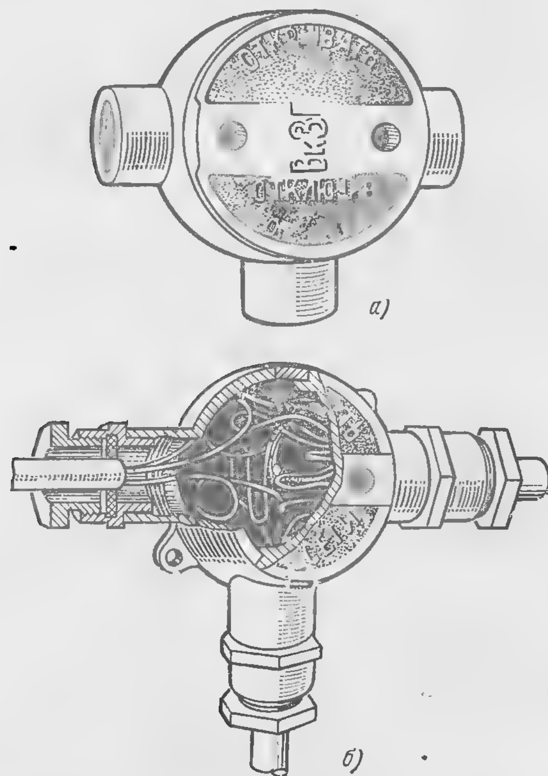


Рис. 20-4. Взрывонепроницаемая ответвительная коробка (фитинг) типа ФТ.

а — для электропроводок в стальных трубах; *б* — для беструбной прокладки кабелей.

вторичных цепях в помещениях классов В-Iб и В-IIа, а также в осветительных сетях в помещениях класса В-Iа при условии отсутствия механических и химических воздействий. Вводы кабелей в электромашины и аппараты выполняются при помощи взрывобезопасной вводной арматуры, например, посредством взрывонепроницаемых кабельных муфт.

В связи с возрастающим выпуском и применением кабелей с алюминиевыми жилами их применение допускается во взрывоопасных помещениях и наружных установках всех классов, за исключением В-I и В-Iа, при условии выполнения соединений и оконцеваний пайкой, сваркой, опрессовкой или при наличии специальных вводных устройств и контактных зажимов для присоединения проводов и кабелей с алюминиевыми жилами.

Открытая прокладка внутри взрывоопасных помещений неизолированных проводников, в том числе троллеев для кранов, запрещается (за редкими исключениями для помещений класса В-Iа и В-Iб).

В помещениях классов В-I и В-II ответвительные коробки должны быть взрывонепроницаемого исполнения, а в помещениях остальных классов — в любом взрывозащищенном исполнении. Взрывонепроницаемые ответвительные коробки (фитинги) выполняются как для электропроводки в стальных трубах, так и для беструбной прокладки кабелей (рис. 20-4).

В качестве заземляющих проводников для защитного и для рабочего заземления должны быть использованы проводки, специально предназначенные для этой цели, а также нулевые провода. Использование металлических конструкций зданий, стальных труб электропроводки, металлических оболочек кабелей допускается только как дополнительное мероприятие. Заземляющие линии должны быть присоединены к заземлителям по меньшей мере в двух разных местах, желательно с противоположных концов помещений.

В пожароопасных помещениях всех классов, как правило, применяются защищенные виды электропроводки. Допускается открытая прокладка изолированных проводов на изоляторах (в пожароопасных помещениях всех классов); провода в этом случае должны быть удалены от мест скопления горючих материалов и не должны подвергаться механическим воздействиям. Допускаются все виды прокладки кабельных линий, при этом специальных требований к ним не предъявляется. Допускается также применение проводов с алюминиевыми жилами при условии выполнения их соединений или оконцеваний при помощи сварки, пайки, опрессовки. Соединительные и ответвительные коробки в пожароопасных помещениях должны иметь пыленепроницаемое исполнение.

В местах, где защитные оболочки проводов и небронированных кабелей могут подвергаться механическим воздействиям, должны быть установлены защитные ограждения.

Глава двадцать первая

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ УСТАНОВОК, СТАНКОВ И МАШИН

21-1. СОДЕРЖАНИЕ ПРОЕКТА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Электрооборудование различных по конструкции и назначению производственных механизмов (металлорежущих станков, кузнечно-прессовых машин, мостовых кранов и др.) имеет много общего в отношении принципов построения схем электрических соединений, размещения электрических машин и аппаратов, их монтажа и т. д. Это дает возможность проводить проектирование электрооборудования большинства станков и машин по единой методике. Наиболее целесообразно вести проектирование электрической части производственного механизма одновременно с разработкой всей его конструкции, так как производственные возможности и конструктивные формы механизмов часто определяются степенью и формой их электрификации.

Проект электрооборудования производственного механизма включает в себя следующие составные части: 1) техническое задание на проектирование электрооборудования; 2) принципиальную схему управления с описанием; 3) размещение электрооборудования на производственном механизме и вне его; 4) схемы соединений узлов и элементов (пульта, шкафа и т. п.); 5) схему подключения (внешнего монтажа); 6) перечень элементов схемы; 7) все необходимые расчеты электрической части (расчет мощности двигателей, определение параметров схемы и т. д.).

Техническое задание на проектирование электрооборудования составляется после установления конструктивных форм и технологических показателей разрабатываемого механизма с учетом степени его электрификации. Электрическое управление механизмами должно быть удобным, надежным, простым и дешевым. Эти основные положения определяют все этапы проектирования электрооборудования, включая составление принципиальной электрической схемы, выбор электроаппаратуры и ее размещение.

В техническом задании указывается количество и назначение электродвигателей данного механизма, их мощность и частота вращения, наличие реверса и торможения, диапазон и плавность регулирования скорости (если оно осуществляется электрическим путем), нагрузочные графики и т. п. Далее приводятся основные требования к схеме управления электродвигателями, дается перечень всех режимов работы механизма, указываются формы управления (ручное, автоматическое, программное и т. д.) и все необходимые блокировки. В заключение приводятся указания по устройству местного освещения, заземления, размещению пультов управления и пр.

21-2. РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ

Принципиальная схема — это схема электрических соединений, выполненная в развернутом виде. Она является основной схемой проекта электрооборудования производственного механизма и дает общее представление об электрооборудовании данного механизма, отражает работу системы автоматического управления механизмом, служит источником для составления схем соединений и подключений, разработки конструктивных узлов и оформления перечня элементов. По принципиальной схеме осуществляется проверка правильности электрических соединений при монтаже и наладке электрооборудования. От качества разработки принципиальной схемы зависит четкость работы производственного механизма, его производительность и надежность в эксплуатации.

Составление принципиальной электросхемы производственного механизма проводится на основании требований технического задания. В процессе составления принципиальной схемы уточняются также типы, исполнения и технические данные электродвигателей, электромагнитов, конечных выключателей, контакторов, реле и т. п. Напомним, что на принципиальной схеме все элементы каждого электрического устройства, аппарата или прибора показываются отдельно и размещаются для удобства чтения схемы в различных местах ее в зависи-

мости от выполняемых функций. Все элементы одного и того же устройства, машины, аппарата и т. п. снабжаются одинаковым буквенно-цифровым обозначением, например: *КЛ1* — контактор линейный первый, *РВ* — реле времени и т. п. На схеме показываются все электрические связи между входящими в нее элементами электрооборудования производственного механизма. На принципиальных схемах силовые цепи обычно размещают слева и изображают их толстыми линиями, а цепи управления помещают справа и чертят тонкими линиями.

Принципиальная схема проектируется с использованием существующих типовых узлов и схем автоматического управления электроприводами (например, схем магнитных контроллеров и защитных панелей — для кранов, схем узлов перехода от наладочного режима к автоматическому при помощи раздельных кнопок управления или переключателя режимов — для металлорежущих станков и т. д.).

Релейно-контактные схемы необходимо составлять с учетом минимальной загрузки контактов реле, контакторов, путевых выключателей и т. д., применяя для снижения коммутируемой ими мощности усилительные устройства: электромагнитные, полупроводниковые усилители и др. Для повышения надежности работы схемы нужно выбрать наиболее простой вариант, имеющий наименьшее количество органов управления, аппаратов и контактов. Для этой цели следует, например, применять общие аппараты защиты для электродвигателей, не работающих одновременно, а также осуществлять управление вспомогательными приводами от аппаратов главного привода, если они работают одновременно.

Цепи управления в сложных схемах следует присоединять к сети через трансформатор, понижающий напряжение до 110 В. Это исключает электрическую связь силовых цепей с цепями управления и устраняет возможность ложных срабатываний релейно-контактных аппаратов при замыканиях на землю в цепях их катушек. Относительно простые схемы электрического управления допускается присоединять непосредственно к питающей сети. Подача напряжения на силовые цепи и цепи управления должна производиться посредством вводного пакетного выключателя или автоматического выключателя.

При применении на металлорежущих станках или других машинах только двигателей постоянного тока в схеме управления следует использовать также аппаратуру постоянного тока.

Различные контакты одного и того же электромагнитного аппарата (контактора, реле, командоконтроллера, путевого выключателя и др.) рекомендуется по возможности подключать к одному полюсу или фазе сети. Это позволяет осуществить более надежную работу аппаратов (отсутствует вероятность пробоя и замыкания по поверхности изоляции между контактами). Из этого правила следует, что один вывод катушки всех электроаппаратов по возможности нужно подключать к одному полюсу цепи управления.

Для обеспечения надежной работы электрооборудования должны быть предусмотрены средства электрической защиты и блокировки. Электрические машины и аппараты защищаются от возможных к. з. и недопустимых перегрузок. В схемах управления электроприводами станков, молотов, прессов, мостовых кранов обязательна нулевая защита для устранения возможности самозапуска электродвигателей при снятии и последующей подаче напряжения питания. Электрическая схема должна быть построена так, чтобы при перегорании предохранителей, обрыве цепей катушек, приваривании контактов не возникало аварийных режимов работы электропривода. Кроме того, схемы управления должны иметь блокировочные связи для предотвращения аварийных режимов при ошибочных действиях оператора, а также для обеспечения заданной последовательности операций. В сложных схемах управления необходимо предусмотреть сигнализацию и электроизмерительные приборы, позволяющие оператору (станочнику, крановщику) наблюдать за режимом работы электроприводов. Сигнальные лампы обычно включаются на пониженное напряжение: 6, 12, 24 или 48 В.

Для удобства эксплуатации и правильного монтажа электрооборудования зажимы всех элементов электроаппаратов, электрических машин (главные контакты, вспомогательные контакты, катушки, обмотки и др.) и провода на схемах маркируются. Согласно ГОСТ 2.709-72 силовые цепи переменного тока маркируются буквами, обозначающими фазы, и последовательными числами. Так, принято линейные провода трехфазной сети

обозначать буквами *A*, *B*, *C* и нулевой провод — буквой *N*. После первого аппарата (например, вводного выключателя) эти провода обозначаются буквами с цифрами (*A1*, *B1*, *C1*), после второго аппарата — буквами с цифрами *A2*, *B2*, *C2* и т. д. Выводы обмотки статора трехфазного асинхронного двигателя и присоединяемые к ним провода обозначают индексами с цифрами, которые соответствуют номерам присоединяемых к ним проводов.

При обозначении зажимов машин постоянного тока применяют следующие обозначения: Я1, Я2 — для якоря, Ш1, Ш2 — для параллельной обмотки возбуждения и т. д.

Участки (зажимы элементов схемы и соединяющие их провода) цепей постоянного тока положительной полярности маркируются нечетными числами, а отрицательной полярности — четными числами. Цепи управления переменного тока маркируются аналогично, т. е. все зажимы и провода, присоединяемые к одной фазе, маркируются нечетными числами, а к другой фазе — четными. Общие точки соединений нескольких элементов на схеме имеют один и тот же номер. После прохождения цепи через катушку, контакт, сигнальную лампу, резистор и т. п. номер изменяется[1]. Для выделения отдельных видов цепей индексация производится так, чтобы цепи управления имели номера от 1 до 99, цепи сигнализации — от 101 до 191 и т. д.

Для иллюстрации основных правил маркировки элементов аппаратов на рис. 21-1 представлена принципиальная электрическая схема универсального токарно-винторезного станка 16К20, широко применяемого на промышленных предприятиях. На станке установлены три асинхронных короткозамкнутых двигателя: двигатель *Д1* на 7,5 кВт для привода шпинделя и рабочей подачи суппорта; двигатель *Д2* на 0,65 кВт для быстрых перемещений суппорта и двигатель насоса охлаждения *Д3* на 0,12 кВт.

Напряжение на схему подается вводным автоматическим выключателем *ВАВ*, который имеет электромагнитный расцепитель для защиты двигателя *Д1* от токов к. з. и расцепитель минимального напряжения. Для за-

[1] Допускается отклонение от этих правил, когда зажимы элементов маркируются очередным порядковым номером по мере их отсчета при построчном чтении (обходе) схемы.

тельно использовать всю высоту шкафа, которая не должна превышать 2 м. Каркас внешнего шкафа изготовляется обычно из уголков и обшивается тонколистовой сталью.

По способу монтажа и доступа к аппаратуре внешние электрошкафы выполняются односторонними и двусто-

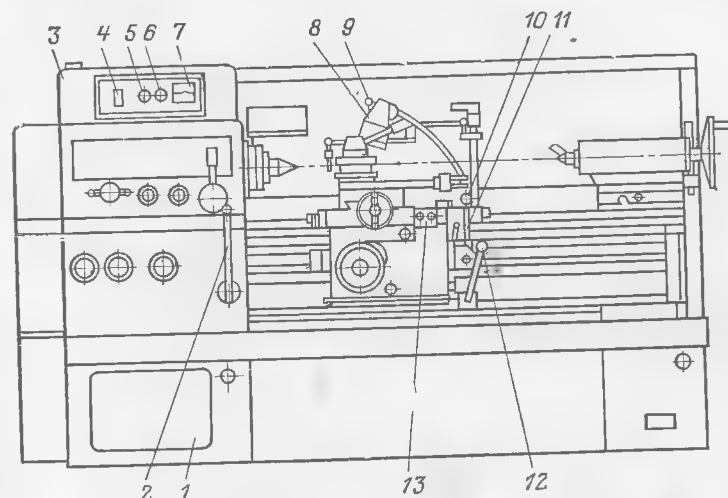


Рис. 21-3. Расположение электрооборудования на станке 16К20.

1 — место установки двигателя главного привода; *2* — рукоятка управления фрикционной муфтой шпинделя; *3* — электрошкаф; *4* — вводный выключатель; *5* — сигнальная лампа; *6* — выключатель электронасоса охлаждающей жидкости; *7* — амперметр в цепи двигателя шпинделя; *8* — светильник местного освещения; *9* — выключатель светильника; *10* — кнопка включения двигателя быстрых ходов суппорта; *11* — рукоятка управления механическими перемещениями суппорта; *12* — рукоятка управления фрикционной муфтой, связанная с рукояткой *2*; *13* — кнопочная станция привода шпинделя.

ронними. В односторонних шкафах применяется переднее присоединение проводов к аппаратам, доступ к которым возможен через открытые дверцы шкафа. В двусторонних шкафах аппаратура размещается на двух сторонах вертикальной панели с передним или задним присоединением проводов. Если оборудование не умещается в одном шкафу, то используют два или три шкафа. Шкафы всех исполнений снабжаются замком со съемным ключом.

На рис. 21-3 показано размещение электрооборудования и органов электрического управления токарно-

винторезного станка 16К20. Электроаппаратура управления станком помещена в электрошкафу *3*, пристроенном к станку позади шпиндельной бабки.

Различные по назначению электрические аппараты и устройства (контакторы, реле, трансформаторы, источники питания и пр.) монтируются на панелях или в блоках. Панели чаще всего изготовляются из листовой стали толщиной 2—3 мм и с лицевой стороны покрываются тонкими листами гетинакса, текстолита или винипласта. Иногда используют в качестве панелей асбоцементные или текстолитовые плиты толщиной 10—15 мм.

Размеры панели определяются габаритами аппаратов, размещенных на ней, и площадью, необходимой для прокладки электрических соединений между отдельными аппаратами, но не должны быть более 1200×750 мм.

В панели просверливаются отверстия, нарезается резьба в соответствии с эскизом размещения электроаппаратуры; устанавливаемая аппаратура крепится винтами или болтами. При креплении тяжелых контакторов используются резиновые прокладки, амортизирующие удар при срабатывании аппарата. Трубчатые резисторы (типа ПЭВ) устанавливаются на шпильках, которые крепятся к панелям и изолируются шайбами от корпуса. Некоторые аппараты монтируются непосредственно на стенках и в отсеках шкафа. Так, на боковой стенке шкафа может быть установлен вводной автоматический выключатель, сюда же выводится рукоятка вводного выключателя.

Малогабаритная аппаратура (телефонные реле, реле типа МКУ и др.) и полупроводниковые приборы (диоды, триоды, резисторы и др.) группируются в отдельные блоки и комплекты. Блок представляет собой изоляционную или металлическую панель (шасси), на которой укрепляются аппараты (детали) и зажимные или штепсельные устройства. Панель прикрывается сверху кожухами из металла, пластмассы или оргстекла.

Командные органы станка или машины (кнопки управления, регуляторы скорости, универсальные переключатели и др.) устанавливаются на стационарных и подвижных пультах управления (кнопочных станциях) — рис. 21-4. По назначению различают главные, рабочие, вспомогательные и наладочные пульты управления. На основном рабочем месте устанавливается главный пульт управления всеми приводами и механизмами станка или машины (рис. 21-4, *а*). Здесь сосредоточен весь комплекс органов управления и контроля за ходом обработки изделий. В местах, удобных для управления, но удаленных от главного пульта, оборудуются рабочие пульты. Эти пульты часто выполняются

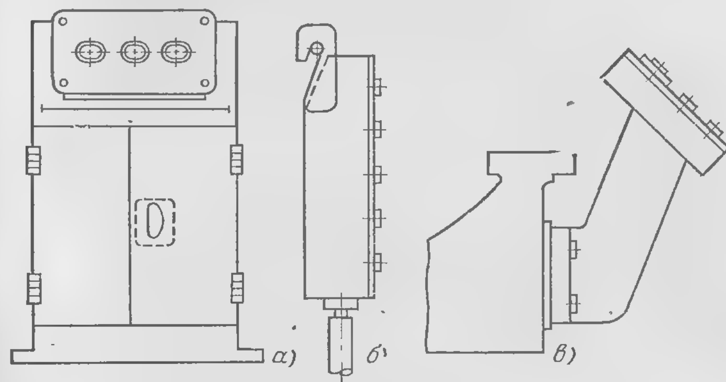


Рис. 21-4. Конструктивные разновидности пультов управления.

а — внешний стационарный; *б* — внешний переносный (подвесной); *в* — пристроенный на консоли.

подвесными или переносными (рис. 21-4, *б*), и оператор может сам выбирать их положение во время работы. Вспомогательные пульты предназначаются для управления установочными перемещениями подвижных частей станка или машины, удаленных от рабочих мест. На этих пультах часто устанавливают органы управления вспомогательными приводами. Наладочные пульты содержат только органы наладочного управления и располагаются в отдалении от рабочих мест.

Путевые выключатели и переключатели, предназначенные для контроля перемещения подвижных частей станка (машины), автоматизации технологических циклов по пути перемещения и т. п., устанавливаются под корпусами отдельных механизмов, по краям неподвижной станины и т. п. При их размещении руководствуются удобством монтажа и обслуживания, а также исключением попадания на переключатель машинного масла, стружек и т. п.

Размещение электрооборудования на мостовых кранах носит более специфический характер. Кроме того, крановое электрооборудование стандартизовано, и весьма различные по конструкции краны комплектуются типовыми панелями управления, контроллерами, резисторами и т. п. Электрооборудование на кране устанавливается отдельными узлами в соответствии с назначением основных механизмов крана. На мосту крана устанавливаются двигатели перемещения моста, преобразовательный агрегат для питания подъемных электромагнитов, контакторные панели управления всеми двигателями крана, ящики резисторов, соединительные и переходные коробки. Также на мосту располагаются троллеи для питания электрооборудования, установленного на тележке: двигателей подъема груза и перемещения тележки и тормозных электромагнитов. Электрооборудование на мосту размещается в один ряд вдоль моста с учетом удобства монтажа и доступности для ремонта. В кабине крана размещаются контроллеры и командоконтроллеры для управления приводами крана, защитная панель, кнопки управления, сирена и другая специальная аппаратура.

Для установки электродвигателей, тормозных устройств и конечных выключателей в механических конструкциях мостов и тележек предусматриваются специальные площадки с отверстиями для крепления. Контакторные панели, как правило, не закрываются глухими шкафами, а лишь защищаются сетками от возможных прикосновений.

В процессе разработки размещения аппаратов на панелях учитывают назначение аппаратов, а также условия их монтажа и эксплуатации.

1. Прежде всего размещают аппараты, расположение которых в шкафу предопределено их назначением и использованием; например, вводной выключатель или автоматический выключатель устанавливается так, чтобы его рукоятка находилась в удобном месте на уровне 1,5—1,7 м от пола; главные предохранители располагают ниже вводного выключателя или рядом с ним; тяжелые контакторы и пускатели располагают на нижней части панели.

2. В местах, наиболее удобных для обслуживания, располагают блоки и комплекты аппаратов главных узлов управления: усилительные и регулирующие устройства, измерительные приборы и др.

3. Предохранители для отдельных силовых цепей ставят выше, а тепловые реле — ниже соответствующих контакторов.

Обычно панели делятся на вертикальные и горизонтальные зоны. Внутри каждой вертикальной зоны группируются аппараты и блоки управления, относящиеся к отдельному приводу станка. По горизонталям вертикальных зон располагают однотипные аппараты, имеющие примерно одинаковую высоту. При этом следует стремиться к сокращению межаппаратных связей, обеспечивая удобство и безопасность обслуживания,

При размещении аппаратов на панелях с передним монтажом следует предусматривать места для прокладки пучков межаппаратных и межпанельных проводов, горизонтальные дорожки и вертикальные промежутки между аппаратами, места для наборов зажимов и штепсельных разъемов, с помощью которых производится межпанельный монтаж. После того как произведено размещение аппаратуры на панели шкафа или в нише, составляется эскиз размещения аппаратуры — чертеж, на котором показываются только контуры аппаратов, оси крепежных отверстий, установочные размеры для аппаратов (от баз). Соединительные провода на таких чертежах не показываются.

21-4. ВЫПОЛНЕНИЕ СХЕМ СОЕДИНЕНИЙ

Электрические аппараты могут иметь присоединительные зажимы на лицевой стороне аппарата или же сзади него, поэтому монтаж проводов на панели управления может выполняться передним или задним. При переднем монтаже все соединительные провода прокладывают по лицевой стороне панели управления, которая выполняется из стального листа. На этой же стороне панели располагают и наборы зажимов. При заднем монтаже электропроводки аппараты располагают на лицевой стороне панели управления из асбоцемента или текстолита, а провода и наборы зажимов (клеммники) — на задней стороне.

Как при переднем, так и при заднем монтаже провода могут укладываться рядами или жгутами. В первом

случае все соединительные провода размещают на панели в один или несколько рядов, применяя специальные стяжки, и в отдельных местах крепят скобами к панели. Во втором случае провода собирают в жгуты, связывают между собой нитками или стягивают скобочками. Под скобы или стяжки подкладывают прокладки из электрокартона или листового полихлорвинила.

В электромашиностроении наиболее широко применяется передний монтаж проводов, что объясняется следующими факторами: 1) электрические аппараты, применяемые для управления и защиты двигателей средних мощностей, выпускаются для переднего присоединения проводов; 2) при одностороннем монтаже аппаратов и проводов панели управления удобнее располагать в нишах станков и машин, проще осуществлять внешние присоединения. Однако следует отметить, что задний монтаж требует меньшей площади для размещения аппаратов и проводов, так как используются обе стороны панели.

В настоящее время получила распространение перекрестная система выполнения схем соединений (Х-монтаж). Электрические аппараты с передним присоединением устанавливаются с большой плотностью на лицевой стороне панели или на металлических рейках (полосах) горизонтальными и вертикальными рядами. Наборы зажимов располагают на лицевой или обратной стороне панели. Расстояние между аппаратами выбирают: по вертикали 40—50 мм, по горизонтали — не менее значений, приведенных в технических данных на эти аппараты.

Для прохода проводов на обратную сторону панели между полосами устанавливают резиновые рейки с отверстиями. В панелях сплошного исполнения соответственно размещению аппаратов просверливают отверстия, в которые вставляют и закрепляют изоляционные втулки. Провода прокладывают от зажимов аппаратов через отверстия и далее по обратной стороне панели по кратчайшему расстоянию к нужному зажиму, вновь выходят на лицевую сторону панели, изгибают под прямым углом и присоединяют к нужному зажиму. При таком монтаже сокращается длина соединительных проводов, упрощается первичный монтаж, но усложняются наладочные и ремонтные работы.

Более подробные сведения по вопросам размещения и монтажа электрооборудования станков и машин приводятся в [16, 26].

После размещения всего электрооборудования станка (машины), составления эскиза размещения аппаратуры и выбора способа соединения проводов приступают к проектированию схемы проводки между зажимами приборов и аппаратов, т. е. к разработке *схемы соединений.*

На схемах соединений аппараты и другие приборы изображаются не разделенными на отдельные элементы. Эти схемы отражают действительное расположение отдельных аппаратов и узлов электрооборудования в шкафах, нишах, на панелях управления и т. д. и способ осуществления электрических соединений между ними.

Составление схем соединений производится по принципиальной электрической схеме и эскизу размещения электрооборудования. При этом применяют те же условные обозначения аппаратуры и маркировку, что и на принципиальной схеме.

При составлении схем соединений нужно помнить следующее:

1. Присоединение проводов производится только к зажимам аппаратов, электрических машин, приборов или к наборам внешних зажимов (клеммников), которые выпускаются промышленностью на номинальные токи 10, 25, 60 и 200 А и напряжение до 500 В.

2. К одному зажиму рекомендуется присоединять не более двух проводов; при наличии большего числа проводов необходимо применять сдвоенные зажимы.

3. В пределах одной панели все разветвления проводов между аппаратами рекомендуется делать на зажимах аппаратов и не применять промежуточные зажимы.

4. Совершенно не допускается соединение проводов помимо зажимов, например путем скрутки или пайки.

На схемах соединений провода, идущие от наборов зажимов или от аппаратов в одном направлении, можно изображать двумя способами: либо объединять в пучки и показывать эти пучки на схеме одной толстой линией, либо каждый провод показывать отдельно. В настоящее время преимущественное распространение нашел первый способ.

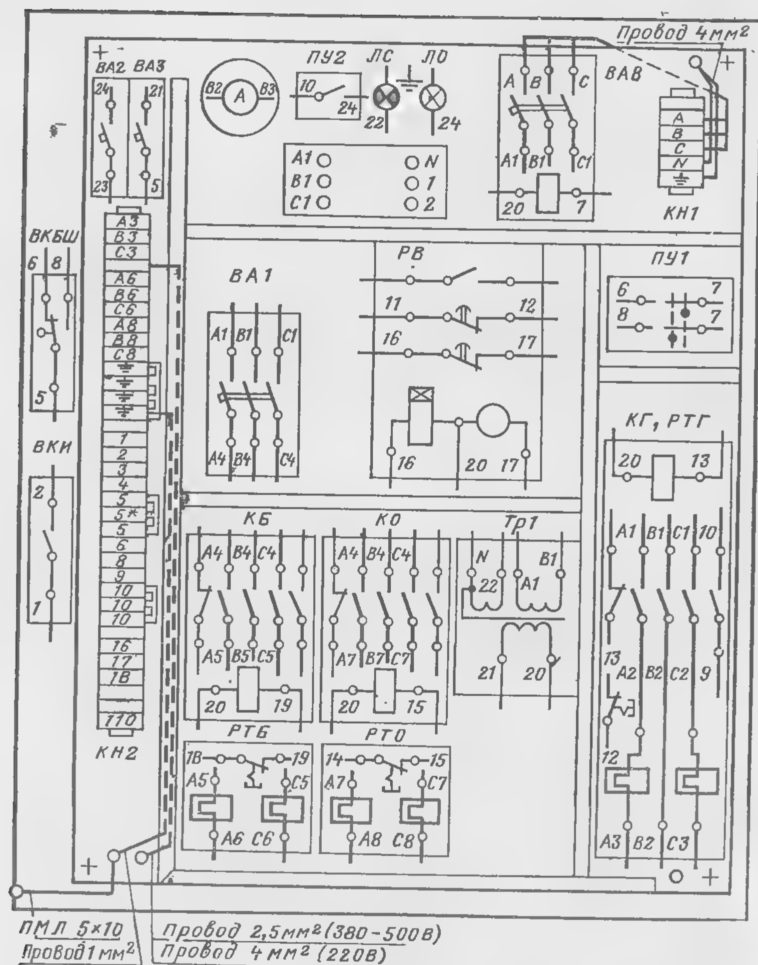


Рис. 21-5. Схема соединений электрошкафа токарного станка 16К20.

Иногда на схемах соединений в целях упрощения их начертания вместо полного изображения линий проводки между аппаратами делаются небольшой длины линии-проводники, на которых указывается встречными стрелками только направление проводки. Около каждой стрелки ставится «адрес» — условное обозначение аппарата или зажима, к которому идет второй ко-

нец провода, и номер провода (номер указан на принципиальной схеме). Место укладки таких проводов выбирается на месте монтажа самим монтажником. Если провод (перемычка) идет к аппарату, установленному на другой панели, то у стрелки указывается обозначение этого аппарата и номер панели (в скобках), к которой направляется этот провод. Так же отмечается проводка от панелей к тем аппаратам, которые встроены в шкафу отдельно: резисторам, сигнальным лампам, измерительным приборам и др.

Разъемные электрические соединения (зажимы аппаратов и наборов зажимов) изображаются на схемах незалитыми кружками. Неразъемные электрические соединения проводов, провода с каким-либо устройством, аппаратом и т. п., получаемые путем пайки или холодного опрессования, обозначаются зачерненными кружками.

На рис. 21-5 показан пример схемы соединений электрошкафа токарного станка модели 16К20, выполненной по адресной системе. На схеме изображены контуры и условные обозначения всех аппаратов, наборы зажимов *КН1* и *КН2*, проставлены номера зажимов в соответствии с номерами подсоединяемых к ним проводников согласно принципиальной схеме на рис. 21-1.

21-5. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРОВОДКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ МЕХАНИЗМОВ

Соединение всех элементов электрооборудования станка или машины в общую схему и питание электрической энергией токоприемников производится с помощью электропроводки, выполняемой в соответствии с общей схемой электрооборудования. Эти схемы составляют на основании принципиальной схемы и эскиза расположения электрооборудования на станке. При составлении общей схемы применяют те же обозначения, что и на принципиальной схеме. Аппаратуру, расположенную в шкафу, обычно обводят общей рамкой. Пучки проводов, идущих в одном направлении, изображают на общей схеме одной жирной линией. На рис. 21-6 приведена в качестве примера общая схема электрооборудования станка 16К20.

Электропроводки станков и машин выполняют проводами и кабелями преимущественно в полихлорвини-

ловой изоляции (например, марок ПВ, ПГВ и др.). Согласно общим техническим условиям для проводок станков и машин могут применяться медные провода сечением не менее 1 мм², и лишь в цепях усилительных устройств разрешается применять непосредственно на станках и машинах провода сечением 0,75 мм², а на панелях и в блоках — 0,5 и 0,35 мм².

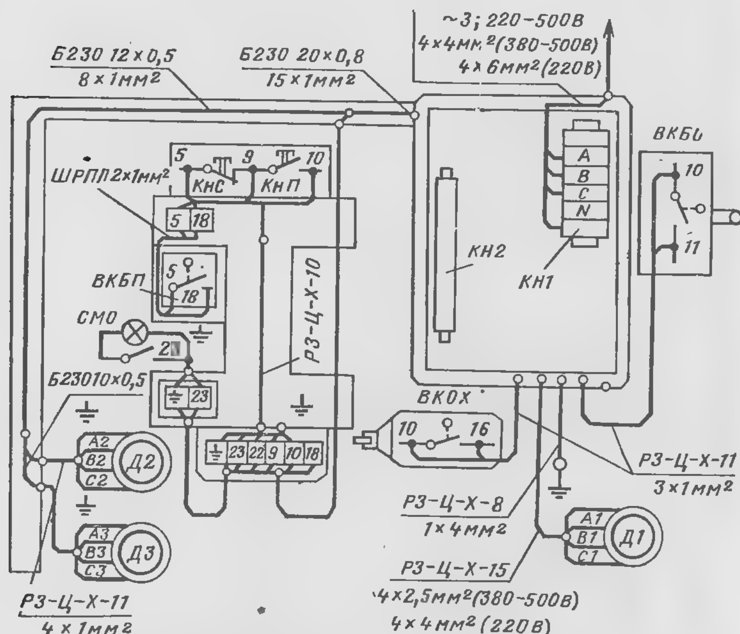


Рис. 21-6. Общая схема электрооборудования станка 16К20.

Проводка в кабинах и на металлических конструкциях мостовых кранов выполняется обычно проводом ПРТО-500. На кранах не допускается сечение проводов меньше 2,5 мм² и с изоляцией на напряжение ниже 500 В.

Электропроводка должна обеспечить надежность работы электрооборудования, быть удобной в эксплуатации, простой и технологичной при монтаже, гармонично сливаться с производственным механизмом. По конструктивным признакам и особенностям монтажа различают три вида проводки: машинную, на панелях и в блоках, внешнюю.

Монтаж машинной электропроводки с целью защиты проводников от механических повреждений и вредных воздействий машинного масла, пыли и охлаждающей жидкости производится в стальных тонкостенных трубах. Чтобы очертания трассы проводки не ухудшали внешнего вида станка или машины, трубы предварительно изгибают в соответствии с конфигурацией станин, корпусов и т. п. Внутренний диаметр труб, число изгибов и их радиусы должны обеспечивать свободное протягивание и замену проводов. Если необходимо иметь много изгибов, то проводку осуществляют в металлорукавах или в толстостенных винилитовых трубках. Провода в трубах и рукавах должны быть целыми. Соединение проводов путем пайки или скрутки не допускается. Соединение труб производится при помощи специальной герметичной арматуры: тройников, угольников, разветвительных коробок и др.

На каждые 7—10 проводов цепей управления, прокладываемых в трубе или металлорукаве, добавляют один резервный провод. На общей схеме электрооборудования выходящие из трубы провода в случае их разветвления снабжают выносками с указанием их нумерации согласно принципиальной схеме и указывают число проводов, их сечение, расцветку и др. (рис. 21-6).

Все концы проводов, соединяющих зажимы отдельных аппаратов и машин, при монтаже электрооборудования должны быть промаркированы в соответствии с нумерацией, имеющейся на схемах соединений, принципиальной и общей. Маркировка проводов производится с помощью бирок из пластмассы, фибры или жести, на которых ставят индекс провода. Бирки на проводах закрепляются суровыми нитками. В некоторых случаях применение бирок оказывается неудобным. Тогда на концы проводов надевают кусочки хлорвиниловых трубок светлого цвета, которые должны плотно прилегать к изоляции провода. На трубках специальными чернилами наносят условные обозначения проводников.

Для удобства монтажа и облегчения нахождения неисправностей электрооборудования, возникающих во время эксплуатации, при выполнении машинной электропроводки широко применяются разветвительные коробки, в которых располагаются наборы зажимов.

К зажимам присоединяются с одной стороны провода, идущие от электрических машин и аппаратов, с другой — уходящие к панелям управления, расположенным в шкафах и нишах.

Проводка к узлам электрооборудования, размещенным на подвижных частях механизма, выполняется гибкими проводами с полихлорвиниловой изоляцией, которые прокладываются в металлорукаве, резинотканевом рукаве или в эластичной пластиковой трубке. Подвод к электрооборудованию, размещенному на вращающихся частях станков, производится с помощью кольцевых токоподводов. Для крановых электроустановок машиностроительных заводов, как правило, применяют троллейный токоподвод.

Электропроводка на панелях шкафов и ниш выполняется в основном жестким проводом (марок ПВ, ПР, ПМВ) с медной жилой, сечение которой выбирают по току нагрузки, но не менее 1,0 мм² для обеспечения достаточной механической прочности. Внешняя проводка выполняется в стальных трубах, прокладываемых по полу или фундаменту станка или машины в специальных каналах, закрываемых сверху съемными стальными щитами.

На автоматических станочных линиях, электрооборудование которых содержит большое количество различных машин, аппаратов и органов контроля, применяется верхняя разводка проводов в специальных секционированных коробах над станками. Короба крепятся на стойках или на станинах станков с помощью кронштейнов. Провода к станкам от короба прокладываются в стальных трубах или металлорукавах.

К электрошкафу управления электроэнергию обычно подводят от цеховых шинных сборок — стальных полос, заключенных в общий кожух из листовой стали, укрепленный на стенах, на колоннах цеха или на специальных стойках. В некоторых случаях схему станка или машины присоединяют к кабельной сети цеха, открытой проводке по стенам или проводам, уложенным в каналах в полу.

21-6. ЗАЗЕМЛЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Согласно ПУЭ для обеспечения безопасности людей все металлические части электрооборудования станков и машин, по которым нормально ток не проходит, должны быть заземлены. Защитное заземление производится при напряжении сети свыше 127 В по отношению к земле. Заземляются корпуса электродвигателей, путевых выключателей и кнопочных станций, каркасы электрошкафа, сердечники и кожухи электромагнитов и т. п., а также вторичные обмотки трансформаторов цепей управления и трансформаторов местного освещения 36 В. Если имеется хорошее электрическое соединение корпуса аппарата с металлической станиной производственного механизма, которая стальной полосой присоединена к общему контуру заземления цеха, то дополнительного заземления аппарата делать не требуется. Электрооборудование, не имеющее надежного контакта со станиной или расположенное на подвижных частях станка или машины, дополнительно заземляется с помощью специальных шин или гибким проводом, который помещают в том же шланге, где расположены токоведущие провода. Не разрешается считать соединением заземления оболочку гибкого металлорукава.

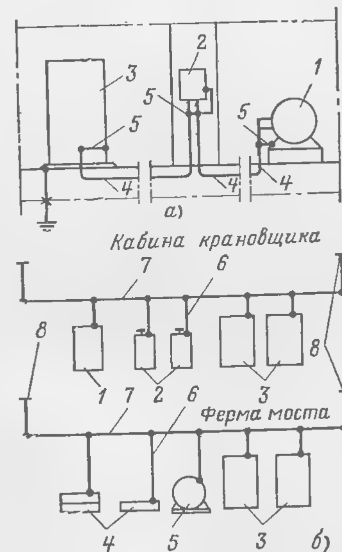


Рис. 21-7. Схемы заземления электрооборудования.

Для удобства присоединения проводников заземления на станине станка или машины предусматривается место для заземляющего болта диаметром 6—8 мм. Сечение заземляющего провода должно быть не менее 25 мм². На чертежах проекта электрооборудования станка или машины в местах, где требуется установить заземление, делается соответствующее указание.

На рис. 21-7, *а* приведена схема заземления силового электрооборудования стационарного производственного механизма. Провода к токоведущим частям проложены в стальных трубах *4*. Корпуса электродвигателя *1*, ма-

гнитного пускателя *2* и шкафа управления *3* присоединяют к трубам проводки заземляющими перемычками *5* и затем заземляют в одной точке. При проводке в резинотканевых рукавах или винилитовых трубках заземляются все корпуса электрооборудования.

При монтаже электрооборудования мостовых кранов заземляются: корпуса электродвигателей; кожухи всех аппаратов; стальные трубы, в которых проложены провода; сетки, ограждающие панели; каркасы пусковых и регулировочных резисторов; кожухи контроллеров и т. п. На рис. 21-7,*б* показана часть схемы заземления оборудования крана. Корпуса отдельных электроаппаратов и машин, например: защитной панели *1*, командоконтроллеров *2*, контакторных панелей *3*, ящиков резисторов *4*, электродвигателя *5* — при помощи заземляющих проводников *6* присоединяются к магистрали заземления *7*, которая соединяется с металлоконструкциями крана *8*.

Заземление металлоконструкций мостовых кранов выполняется через подкрановые пути и обеспечивается контактом между рельсами и ходовыми колесами. Стыки рельсов должны быть надежно соединены перемычками, сваркой или приварены к подкрановым балкам, образуя при этом непрерывную электрическую цепь.

Присоединение заземляющего провода к рельсовым путям крана должно выполняться при помощи сварки, а присоединение к корпусам электродвигателей, аппаратов при помощи болтовых соединений, обеспечивающих надежный контакт.

При управлении краном (электроталью) с пола цеха корпуса кнопочных аппаратов управления, выполненные не из изоляционного материала, должны быть заземлены двумя проводниками: жилой гибкого кабеля и тросиком, прикрепленным с наружной стороны гибкого кабеля.

Заземление лифтов призводится следующим образом:

а) Электрические машины и аппараты, установленные на звуко- и вибрационных опорах, заземляются гибким проводом.

б) Для заземления металлических частей кабины используется одна из жил гибкого кабеля или один из проводов гибкого токоподвода.

в) Можно использовать в качестве дополнительного

заземляющего проводника экранирующую оболочку кабеля и несущие тросы кабины.

г) Металлические направляющие кабины и противовеса, а также металлические конструкции ограждения шахты должны быть заземлены.

21-7. ОПИСАНИЕ И ПЕРЕЧЕНЬ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Описание электрооборудования производственного механизма обычно делится на три части: общие сведения об электрооборудовании, описание действия электрической схемы управления и перечисление всех блокировок и защиты.

В первой части указывается полный перечень, назначение и технические данные электрических машин, электромагнитов, электронагревательных устройств и других силовых элементов, возможные режимы работы электрооборудования и применяемые напряжения для питания элементов электрооборудования. Приводится общая характеристика аппаратуры управления, защиты и сигнализации, объединенной по назначению и местам размещения.

Описание действия электрической схемы производится в последовательности, соответствующей порядку работы элементов электрооборудования для рабочих режимов, а также для наладочных режимов. При перечислении блокировок и защиты указывается их назначение и приводится изложение действия всех блокировок и защиты электрооборудования, а также вопросов электробезопасности.

К каждой отдельной принципиальной схеме прилагается (или выполняется на том же чертеже в соответствии с ГОСТ 2.702-75) перечень элементов электрооборудования, в который заносят краткие технические данные и позиционное обозначение всех элементов и устройств, используемых в схеме. Кроме того, на схеме обычно приводятся диаграммы работы переключателей управления всех видов и назначений, циклограммы срабатывания и схематическое расположение путевых (конечных) выключателей и командоаппаратов.

Электроимпульсная обработка 390
Электроискровая обработка 390
Электроконтактные датчики (измерительные головки) 336
Электроконтактный манометр 459
Электромагнитная муфта скольжения 221
Электромагнитные вращающиеся столы 333
— плиты 332
Электромагниты автоматических станочных линий 368
Электросварка дуговая 76
— контактная 79
Электротележки наземные 183
— подвесные (электротали) 154
Элементы логические бесконтактные 370
— матричной логики серии М 374
— управления серии «Логика-Н» 373

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие 3
Введение 4
Глава первая. Электрооборудование установок электронагрева 7
1-1. Общие сведения об электротермических установках . 7
1-2. Установки печей сопротивления 10
1-3. Установки дуговых печей 39
1-4. Индукционные электротермические установки . . . 58
Глава вторая. Электрооборудование установок электрической сварки 76
2-1. Общие сведения об электросварке 76
2-2. Источники питания сварочной дуги 81
2-3. Установки дуговой сварки 98
2-4. Установки контактной сварки 102
Глава третья. Электрооборудование мостовых кранов . 106
3-1. Общие сведения о мостовых кранах 106
3-2. Режимы работы и особенности электрооборудования кранов 110
3-3. Требования к электроприводу механизмов крана . 113
3-4. Выбор рода тока и типа электропривода 114
3-5. Расчет статических нагрузок двигателей механизмов кранов 117
3-6. Определение динамических нагрузок двигателей крана 120
3-7. Выбор мощности двигателей крановых механизмов 121
3-8. Крановые тормозные устройства и грузоподъемные электромагниты 127
3-9. Крановая аппаратура управления и защиты . . . 133
3-10. Электрические схемы контроллерного управления двигателями крановых механизмов 142
3-11. Электрические схемы контакторного управления двигателями крановых механизмов 146
3-12. Автоматизированный электропривод крановых механизмов с тиристорным управлением 151
3-13. Электрооборудование подвесных электротележек . 154
3-14. Токоподвод к кранам 157
Глава четвертая. Электрооборудование и автоматизация лифтов 161
4-1. Общие сведения о лифтах 161
4-2. Основные требования к электроприводу лифтов . . 163
4-3. Типы электропривода и основное электрооборудование лифтов 167
4-4. Расчет нагрузок и выбор мощности двигателей лифтов 173
4-5. Электрические схемы автоматического управления лифтами 176
Глава пятая. Электрооборудование наземных электротележек и механизмов непрерывного транспорта . . 183
5-1. Электрооборудование наземных электротележек . . 183

5-2. Назначение и устройство механизмов непрерывного транспорта . . . 188
5-3. Особенности электропривода и выбор мощности двигателей конвейеров . . . 191
5-4. Автоматизированное управление электроприводами конвейеров . . . 196

Глава шестая. **Общие сведения о металлорежущих станках** . . . 207

6-1. Классификация металлорежущих станков . . . 207
6-2. Основные и вспомогательные движения в станках, кинематические схемы . . . 208
6-3. Общие вопросы электропривода станков . . . 211
6-4. Регулирование скорости приводов станков . . . 215
6-5. Режимы работы электродвигателей станков . . . 225
6-6. Выбор системы автоматизации станков . . . 226
6-7. Типовые блокировочные связи в схемах управления станками . . . 228
6-8. Электрическая аппаратура управления станками . . . 231

Глава седьмая. **Электрооборудование токарных станков** . . . 234

7-1. Назначение и устройство токарных станков . . . 234
7-2. Типы электроприводов токарных станков . . . 238
7-3. Расчет мощности двигателей токарных станков . . . 240
7-4. Электропривод и схема управления токарно-винторезного станка . . . 244
7-5. Автоматизированный электропривод токарно-револьверных станков . . . 247
7-6. Электропривод и схема управления тяжелого токарно-карусельного станка . . . 250
7-7. Копирование на токарных станках . . . 260

Глава восьмая. **Электрооборудование сверлильных и расточных станков** . . . 262

8-1. Назначение и устройство сверлильных и расточных станков . . . 262
8-2. Особенности и типы электроприводов сверлильных и расточных станков . . . 265
8-3. Расчет мощности двигателей сверлильных и расточных станков . . . 267
8-4. Электропривод и схема управления радиально-сверлильного станка . . . 268
8-5. Электропривод и схема управления универсального расточного станка . . . 271
8-6. Электропривод подачи расточного станка по системе ТП-Д . . . 275

Глава девятая. **Электрооборудование продольно-строгальных станков** . . . 282

9-1. Назначение и устройство продольно-строгальных станков . . . 282
9-2. Особенности работы и типы главных электроприводов продольно-строгальных станков . . . 283

9-3. Расчет мощности двигателя стола продольно-строгального станка . . . 287
9-4. Главный электропривод продольно-строгального станка по системе Г—Д с МУ . . . 292
9-5. Главный привод продольно-строгального станка по системе ТП—Д с подчиненным регулированием . . . 300
9-6. Электропривод подачи суппортов продольно-строгальных станков . . . 305

Глава десятая. **Электрооборудование фрезерных станков** . . . 306
10-1. Назначение и устройство фрезерных станков . . . 311
10-2. Типы электроприводов фрезерных станков . . . 312
10-3. Расчет мощности двигателей фрезерных станков
10-4. Электропривод и схема управления вертикально-фрезерного станка . . . 315
10-5. Особенности электрооборудования копировально-фрезерных станков . . . 318

Глава одиннадцатая. **Электрооборудование шлифовальных станков** . . . 323
11-1. Назначение и устройство шлифовальных станков . . . 323
11-2. Типы электроприводов шлифовальных станков . . . 328
11-3. Расчет мощности двигателя главного привода шлифовальных станков . . . 330
11-4. Специальное электрооборудование шлифовальных станков . . . 331
11-5. Управление электрошпинделями с помощью статических преобразователей частоты . . . 338
11-6. Электропривод и схема управления круглошлифовального станка . . . 343

Глава двенадцатая. **Электрооборудование агрегатных станков** . . . 348
12-1. Назначение и устройство агрегатных станков . . . 348
12-2. Циклы движений силовых головок агрегатных станков . . . 352
12-3. Расчет мощности двигателей агрегатных станков . . . 353
12-4. Электропривод и схема управления агрегатного станка с самодействующей головкой . . . 354

Глава тринадцатая. **Электрооборудование автоматических станочных линий** . . . 357
13-1. Основные типы автоматических станочных линий . . . 357
13-2. Принципы построения схем управления автоматическими линиями . . . 361
13-3. Электрооборудование автоматических линий . . . 367
13-4. Схемы управления транспортерами, поворотными столами и механическими ключами . . . 376
13-5. Управление станками автоматических линий . . . 382
13-6. Блокировки, автоматический контроль и сигнализация на станочных линиях . . . 384

Глава четырнадцатая. **Электрооборудование установок электроэрозионной и ультразвуковой обработки** . . . 389

14-1. Установки электроэрозионной обработки . . . 389
14-2. Установки ультразвуковой обработки . . . 399

Глава пятнадцатая. **Электрооборудование станков с программным управлением** 402
15-1. Общие сведения о программном управлении станками 402
15-2. Системы циклового программного управления 408
15-3. Электроприводы станков с ЧПУ 412
15-4. Системы числового программного управления 419
15-5. Многооперационные станки и промышленные роботы 429
Глава шестнадцатая. **Электрооборудование кузнечно-прессовых машин** 433
16-1. Назначение и устройство кузнечно-прессовых машин 433
16-2. Типы электроприводов кузнечно-прессовых машин 437
16-3. Управление электроприводами кузнечно-прессовых машин 444
Глава семнадцатая. **Электрооборудование компрессоров и вентиляторов** 449
17-1. Назначение и устройство компрессоров и вентиляторов 449
17-2. Особенности электропривода и выбор мощности двигателей компрессоров и вентиляторов 452
17-3. Автоматизация работы вентиляторных и компрессорных установок 455
Глава восемнадцатая. **Электрооборудование насосных установок** 468
18-1. Назначение и устройство насосов 468
18-2. Особенности электропривода и выбор мощности двигателей насосов 470
18-3. Регулирование производительности механизмов с вентиляторным моментом на валу 474
18-4. Специальная аппаратура для автоматизации насосных установок 476
18-5. Схемы автоматизации насосных установок 478
Глава девятнадцатая. **Электрооборудование установок для нанесения покрытий** 484
19-1. Гальванические установки 484
19-2. Установки электростатической окраски 492
Глава двадцатая. **Электрооборудование во взрыво- и пожароопасных помещениях** 503
20-1. Классификация помещений по их взрыво- и пожароопасности 503
20-2. Виды исполнений электрооборудования по степени защиты от воздействия окружающей среды 506
20-3. Выбор электрооборудования для взрыво- и пожароопасных помещений 508
20-4. Электропроводки во взрыво- и пожароопасных помещениях 515
Глава двадцать первая. **Проектирование электрооборудования промышленных установок, станков и машин** 518
21-1. Содержание проекта электрооборудования 518

21-2. Разработка принципиальной электрической схемы 519
21-3. Размещение электрооборудования на станках и машинах 525
21-4. Выполнение схем соединений 531
21-5. Электрические проводки промышленных механизмов 535
21-6. Заземление металлических элементов электрооборудования 538
21-7. Описание и перечень элементов электрооборудования 541
Приложение 542
Список литературы 544
Предметный указатель 546

ЕВГЕНИЙ НИКОЛАЕВИЧ ЗИМИН
ВСЕВОЛОД ИВАНОВИЧ ПРЕОБРАЖЕНСКИЙ
ИВАН ИВАНОВИЧ ЧУВАШОВ

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ И УСТАНОВОК

Редакторы: Р. С. Сарбатов, В. П. Цишевский
Редактор издательства И. П. Березина
Переплет художника Д. И. Чернышева
Технический редактор Г. Г. Самсонова
Корректор Н. А. Войтенко
ИБ № 1709 («Энергия»)

Сдано в набор 29.12.80 Подписано к печати 30.06.81 Т-20072 Формат 84×108[1]/32 Бумага типографская № 3 Гарн. шрифта литературная Печать высокая Усл. печ. л. 28,98 Уч.-изд. л. 29,33 Тираж 90 000 экз. (1-й завод 1—55 000 экз.) Заказ 612 Цена 1 р. 10 к.

Энергоиздат, 113114, Москва, М-114, Шлюзовая набер., 10

Владимирская типография «Союзполиграфпрома» при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли
600000, г. Владимир, Октябрьский проспект, д. 7